

福建省工程建设地方标准

DB

工程建设地方标准编号 :DBJ/T 13-496-2025

住房和城乡建设部备案号 : J 18305-2025

基坑倾斜桩支护技术标准

Technical standard for inclined retaining piles of excavations

2025-08-12 发布

2025-11-01 实施

福建省住房和城乡建设厅

发布

福建省工程建设地方标准

基坑倾斜桩支护技术标准

Technical standard for inclined retaining piles of excavations

工程建设地方标准编号：DBJ/T 13-496-2025

住房和城乡建设部备案号：J 18305-2025

主编单位：福建省建筑科学研究院有限责任公司

福建省建研工程顾问有限公司

中国建筑第八工程局有限公司

批准部门：福建省住房和城乡建设厅

实施日期：2025年11月1日

2025年 福州

前 言

根据《福建省住房和城乡建设厅关于公布全省住房和城乡建设行业 2022 年第五批科学技术计划项目的通知》（闽建科〔2022〕33 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准编制的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 设计；5. 施工；6. 质量检验与监测；附录。

本标准由福建省住房和城乡建设厅负责管理，由福建省建筑科学研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送福建省住房和城乡建设厅科技与设计处（地址：福州市北大路 242 号，邮编：350001）和福建省建筑科学研究院有限责任公司（地址：福建省福州市闽侯县上街镇高新大道 58-1 号，邮编：350108），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：福建省建筑科学研究院有限责任公司

福建省建研工程顾问有限公司
中国建筑第八工程局有限公司

本标准参编单位：天津大学

福建省建科工程技术有限公司
福州建工集团有限公司
福州市建设发展集团有限公司
福建省建筑设计研究院有限公司
福州市建筑设计院有限责任公司

福建一建集团有限公司

厦门辉固信息技术有限公司

福州市勘测院有限公司

本标准主要起草人：李志伟 黄志强 方能榕 郑 刚
赵剑豪 罗贞海 朱剑钦 周海祚
陈云琴 郑礼群 黄伟达 刘 鹭
俞 伟 冯金健 周火垚 沈铭龙
陈晓东 朱建辉 周燕锋 杨钧滔
本标准主要审查人：侯伟生 赖树钦 方家强 吴平春
林民勇 黄跃森 黄建华

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 基本规定	7
4 设 计	11
4.1 一般规定	11
4.2 土压力计算	15
4.3 结构分析	18
4.4 稳定性验算	23
4.5 构 造	30
5 施 工	33
5.1 一般规定	33
5.2 倾斜桩施工	33
5.3 土方开挖	36
5.4 施工安全与环境保护	38
6 质量检验与监测	40
6.1 质量检验	40
6.2 监 测	41
附录 A 倾斜桩支护结构布置形式	43
附录 B 倾斜桩支护结构冠梁配筋构造	51
本标准用词说明	63
引用标准名录	64

附：条 文 说 明65

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Basic Requirements.....	7
4	Design.....	11
4.1	General Requirements.....	11
4.2	Calculation of Earth Pressure.....	15
4.3	Structural Analysis.....	18
4.4	Stability Analysis.....	23
4.5	Structural Detail.....	30
5	Construction.....	33
5.1	General Requirements.....	33
5.2	Construction of Supporting Pile.....	33
5.3	Earthwork Excavation and Backfilling.....	36
5.4	Construction Security and Environment Protection.....	38
6	Quality Inspection and Monitoring.....	40
6.1	Quality Inspection.....	40
6.2	Monitoring.....	41
	Appendix A Layout Form of Inclined Retaining Structure.....	43
	Appendix B Crown Beam Reinforcement Structure of Inclined Retaining Structure.....	51
	Explanation of Wording in This Standard.....	63
	List of Quoted Standards.....	64

Addition: Explanation of Provisions..... 65

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

1 总 则

1.0.1 为确保倾斜桩支护技术在基坑工程设计、施工中做到安全适用、技术先进、绿色环保、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于福建省基坑倾斜桩支护工程的勘察、设计、施工、监测和检测。

1.0.3 基坑倾斜桩支护工程除应符合本标准外，尚应符合国家、行业和福建省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 倾斜桩支护结构 retaining structure with inclined piles

利用倾斜桩或倾斜桩、竖直桩及桩间土体形成的组合结构进行支护，形成的高自稳、自撑式支护结构。

2.1.2 内斜桩 internal inclined pile

桩体与竖直方向呈一定角度的倾斜，且桩顶朝向坑外、桩端朝向坑内的倾斜支护桩。

2.1.3 外斜桩 external inclined pile

桩体与竖直方向呈一定角度的倾斜，且桩顶朝向坑内、桩端朝向坑外的倾斜支护桩。

2.1.4 倾斜桩组合支护结构 composite retaining structure with inclined piles

由竖直桩与倾斜桩组合或由不同倾斜方向、倾斜角度的倾斜桩组合形成的支护结构，包括斜直交替支护结构、斜直组合双排桩支护结构、“八字形”组合支护结构、“个字形”组合支护结构，以及倾斜桩支护结构与其他支护结构或支撑、锚杆体系组合形成的支护结构体系。

2.1.5 斜直交替支护结构 retaining structure with alternating inclined-vertical piles

由竖直桩与倾斜桩在同一轴线进行交替布置，并通过冠梁进行连接的组合支护桩结构，包括内斜-竖直组合支护结构和外斜-竖直组合支护结构。

2.1.6 斜直组合双排桩支护结构 combination retaining structure

with inclined-vertical double-row piles

由倾斜桩与竖直桩形成前、后两排支护桩，并通过梁（板）结构连接形成双排桩支护桩结构，包括内斜-竖直组合双排桩支护结构和竖直-外斜组合双排桩支护结构。

2.1.7 “八字形”组合支护结构 splayed retaining structure with inclined piles

由内斜桩与外斜桩通过梁（板）结构连接组合形成的支护结构，两排倾斜桩桩顶可在同一轴线，也可不在同一轴线。

2.1.8 “个字形”组合支护结构 sagittate shape retaining structure with alternating inclined-vertical piles

由内斜桩、外斜桩与竖直桩交替布置，且通过梁（板）结构连接组合形成的支护结构。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

E_{ak} 、 E_{pk} —— 基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力的标准值；

F_h —— 挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力；

G —— 倾斜桩组合支护结构的桩间土自重之和；

ΔG_j —— 第 j 土条的自重，按天然重度计算；

M —— 作用基本组合的弯矩设计值；

q_0 —— 地面均布荷载；

p_{ak} 、 p_{pk} —— 主动土压力、被动土压力标准值；

p_{ni} —— 倾斜桩嵌固段上的法向分布土反力；

p_{nv} —— 作用在斜直交替结构简化直桩嵌固段上土的水平土反力；

p_{s0} —— 分布土反力初始值；

P_{sk} —— 倾斜桩嵌固段上的基坑被动侧土反压力标准值；

Q —— 作用基本组合的剪力设计值；

q_j —— 作用在第 j 土条上的附加分布荷载标准值；

T_k —— 外斜式倾斜桩轴向承载力水平分力标准值；

u_a 、 u_p —— 基坑主动侧、被动侧地下水压力；

μ_j —— 第 j 土条在滑弧面上的孔隙水压力；

σ_{ak} 、 σ_{pk} —— 支护结构主动侧、被动侧计算点的土中竖向应力标准值。

2.2.2 抗力和材料性能

c —— 土的黏聚力；

c_i —— 第 i 层土的黏聚力；

c_j —— 第 j 土条滑弧面处土的黏聚力；

E —— 倾斜桩桩身材料的弹性模量；

φ —— 土的内摩擦角；

φ_i —— 第 i 层土的内摩擦角；

φ_j —— 第 j 土条滑弧面处土的内摩擦角；

γ_{m1} —— 基坑外挡土构件底面以上土的重度；

γ_{m2} —— 基坑内挡土构件底面以上土的重度；

γ_w —— 地下水重度。

2.2.3 几何参数

a_{a1} 、 a_{p1} —— 基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力合力作用点至倾斜桩底端的距离；

a_T —— 外斜式倾斜桩与竖直桩交叉点位置至竖直桩桩底的垂直距离；

b_j —— 第 j 土条的宽度；
 D —— 基坑底面至挡土构件底面的土层厚度；
 d —— 预制桩外径或长边长度；
 h —— 基坑的开挖深度；
 L_h —— 倾斜桩位于开挖面以下的长度；
 $h_{wa,j}$ —— 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；
 l —— 挡土构件长度；
 l_G —— 倾斜桩组合支护结构的桩间土的重心至前桩桩底的水平距离；
 l_d —— 倾斜桩支护结构插入深度；
 l_j —— 第 j 土条的滑弧段长度；
 L_w —— 外斜桩长度；
 s —— 倾斜桩水平间距；
 z —— 计算点距地面的深度；
 β_j —— 第 j 土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角；
 θ —— 倾斜桩与竖直方向的夹角；
 v_b —— 挡土构件在坑底处的水平位移量；
 v_{ni} —— 土反力计算点的倾斜桩的法向位移值；
 v_R —— 挡土构件在支点处的水平位移值；
 v_{R0} —— 支点的初始水平位移值；
 Δ_p —— 倾斜桩在开挖面处的桩顶轴向位移。

2.2.4 计算参数

K_1 —— 倾斜桩位于开挖面以上的杆件水平刚度；

- K_2 —— 倾斜桩位于开挖面以下的水平刚度；
- $K_{a,i}$ —— 第 i 层土的主动土压力系数；
- K_{em} —— 嵌固（抗倾覆）稳定安全系数；
- K_{he} —— 抗隆起安全系数；
- $K_{p,i}$ —— 第 i 层土的被动土压力系数；
- K_s —— 圆弧滑动整体稳定安全系数；
- $K_{s,i}$ —— 第 i 个滑动圆弧的抗滑力矩与滑动力矩的比值；
- k_{ni} —— 倾斜桩的法向刚度系数；
- k_{nv} —— 挡土构件在分布土反力计算点的法向刚度系数；
- k_R —— 计算宽度内弹性支点刚度系数；
- m —— 倾斜桩的法向土反力刚度系数的比例系数；
- N_c 、 N_q —— 承载力系数。

3 基本规定

3.0.1 基坑倾斜桩支护工程应综合考虑工程地质和水文地质条件、开挖深度与面积、主体地下结构与基础型式、周边环境、施工条件等因素，并结合工程经验，合理设计、精心施工、严格监测和检测。

3.0.2 基坑倾斜桩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 满足主体地下结构的施工空间和施工工艺要求，确保桩基础和地下结构安全。

3.0.3 基坑倾斜桩支护适用于以下基坑工程中：

1 平面尺寸较大，开挖深度浅~中等，变形控制要求较高的基坑工程；

2 采用内支撑体系会对支护造价或工期影响较大的基坑工程；

3 周边环境不具备锚杆施工条件，但具备倾斜桩施工空间的基坑工程。

3.0.4 基坑倾斜桩支护设计应符合下列要求：

1 应根据基坑开挖深度、地质条件及周边环境等因素进行倾斜桩桩型选择，可采用钢筋混凝土预制桩、型钢桩、钢管桩、灌注桩或其他桩型，也可采用不同桩型进行组合；

2 内斜桩桩端持力层不应设置在未经处理的软弱土层和不稳定土层；当倾斜桩桩身位于软弱土层或不稳定土层时，可采取土体加固的方式提高其桩周土性能；

3 当周边环境变形控制要求严格时,倾斜桩支护结构可与内支撑或锚杆相结合进行支护。

3.0.5 基坑倾斜桩支护设计应规定其设计工作年限,且设计工作年限不应少于一年。

3.0.6 基坑倾斜桩支护结构的安全等级应按表 3.0.6 进行确定。对于同一基坑的不同位置,可采用不同的支护结构安全等级。

表 3.0.6 倾斜桩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

3.0.7 基坑倾斜桩支护工程应根据现行国家标准《工程勘察通用规范》GB 55017、《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定进行勘察。勘察报告宜包括下列内容:

- 1 与基坑开挖有关的场地及岩土条件、周边环境状况;
- 2 对基坑开挖有影响的不良地质作用和地质灾害等的分布特征及危险程度、危害性进行评价,并提出处理措施建议;
- 3 提供基坑设计使用岩土参数和倾斜桩桩端持力层相关参数,提出包含但不限于倾斜桩支护的基坑支护设计方案建议;
- 4 明确地下水的类型、埋藏条件及分布规律,地下水补给、径流和排泄条件,影响基坑工程的设计水位,提供地下水控制所需的水文地质参数,提出地下水控制措施建议;

5 分析基坑工程实施过程中可能遇到的岩土工程问题,提出相应的防治、周边环境保护及监测建议。

3.0.8 基坑周边环境调查应对基坑周边不少于 3 倍开挖深度范围内建(构)筑物及管线设施的状况进行调查。当位于软土地带时,调查范围宜适当扩大。调查内容宜符合下列规定:

- 1 查明场地原始及现状地形、地貌；
- 2 查明周边建（构）筑物的平面布置、基础型式及持力层、使用年限等；
- 3 查明周边既有地上、地下管线及综合管廊等类型、平面布置、尺寸、埋深及使用状况等；
- 4 查明周边道路等级、平面布置、宽度、行车情况及最大车辆荷载等；
- 5 了解基坑施工期间周边场地现场平面布置及临时施工荷载等。

3.0.9 基坑倾斜桩支护结构的水、土压力计算和各类稳定性验算时，土、水压力的分算、合算方法及土的抗剪强度指标类别应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 及现行地方标准《建筑与市政地基基础技术标准》DBJ/T 13-07 的有关规定。

3.0.10 基坑倾斜桩支护结构应符合承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求，设计计算或验算应符合下列规定：

- 1 支护结构均应进行承载能力极限状态的计算，作用基本组合的效应设计值应符合国家现行标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定，并根据基坑支护形式及其受力特点，进行支护结构承载力和稳定性验算；

- 2 对于支护结构安全等级为一级、二级的基坑工程，应对支护结构变形及基坑周边土体的变形进行计算，并进行周边环境影响分析评价；

- 3 当周边环境复杂时，应根据基坑周边环境保护要求进行变形控制设计，并应采取相应的保护措施；支护结构及周边环境的变形控制值应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。

3.0.11 地下水控制设计除应满足基坑抗突涌、抗渗流稳定性验算的要求外，尚应满足基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路

等变形控制要求。

3.0.12 倾斜桩沉桩机械应综合考虑场地施工条件、周围环境、地质条件、施工工艺和桩型要求等因素进行选取，并通过沉桩试验确定施工机械及工艺的适用性。

3.0.13 倾斜桩沉桩及回收不对拟建建（构）筑物及周边环境产生不利影响。

3.0.14 倾斜桩支护工程应对基坑支护结构及周边环境进行监测，并实施动态设计和信息化施工。

4 设 计

4.1 一般规定

4.1.1 基坑倾斜桩支护设计应具备下列资料：

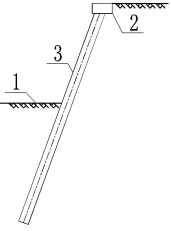
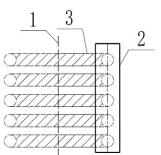
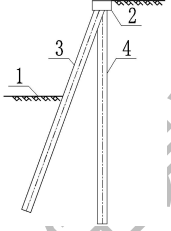
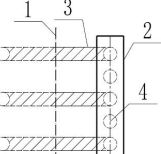
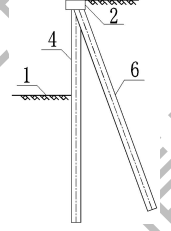
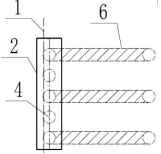
- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 场地用地红线图、原始及现状地形资料；
- 3 项目总平面图、地下结构及基础设计资料；
- 4 基坑周边既有建（构）筑物、管线和地下设施的类型、基础及结构特征、使用现状及与基坑的相对位置关系、变形控制要求、相邻既有建（构）筑物的原基坑支护资料等；
- 5 基坑周边在建和待建项目的工程资料；
- 6 场地周边道路及行车状况，场地现场平面布置及临时施工荷载等。

4.1.2 基坑倾斜桩支护结构选型应综合考虑下列影响因素：

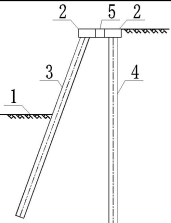
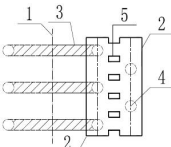
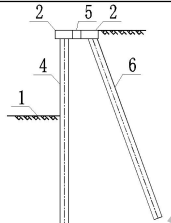
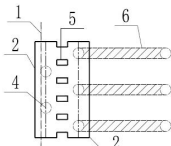
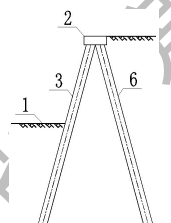
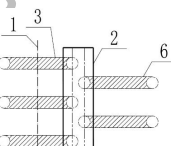
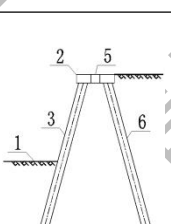
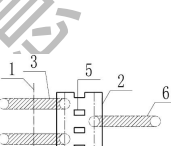
- 1 工程地质及水文地质条件；
- 2 基坑开挖深度、平面尺寸及形状；
- 3 基坑周边环境要求；
- 4 主体地下结构、基础形式及施工方法；
- 5 地下结构基础、外墙与场地用地红线相对位置关系；
- 6 施工场地条件、支护结构施工工艺可行性；
- 7 经济指标、环保性能和施工工期。

4.1.3 基坑倾斜桩支护结构可按表 4.1.3 进行选型，具体形式可参照本标准附录 A 进行布置。

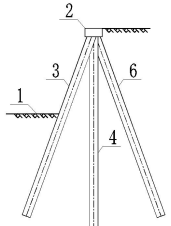
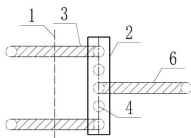
表 4.1.3 倾斜桩支护结构构造及适用条件

结构形式	斜桩类型	示意图	俯视图	构造及适用条件
单排倾斜桩	预制桩/灌注桩/型钢桩/钢管桩			<p>(1) 止水（泥）帷幕结合基坑降排水要求进行设置；</p> <p>(2) 桩间土可采用喷面挂网进行保护；</p> <p>(3) 不宜用于开挖深度大于 6m 的基坑。</p>
斜直交替支护结构	预制桩/灌注桩/型钢桩/钢管桩（内斜式）			<p>(1) 支护结构稳定性及变形控制效果优于单排倾斜桩，且内斜式斜直交替支护结构变形控制效果优于外斜式斜直交替支护结构，但所需肥槽宽度较大；</p> <p>(2) 止水（泥）帷幕结合基坑降排水要求进行设置，可优先将竖直桩嵌入止水（泥）帷幕；</p> <p>(3) 内斜式支护结构桩间土可采用喷面挂网进行保护；</p> <p>(4) 不宜用于开挖深度大于 8m 的基坑。</p>
	预制桩/灌注桩/型钢桩/钢管桩（外斜式）			

续表 4.1.3

结构形式	斜桩类型	示意图	俯视图	构造及适用条件
斜直组合双排桩支护结构	预制桩/灌注桩/型钢桩/钢管桩 (内斜式)			(1) 支护结构稳定性及变形控制效果优于斜直交替支护结构, 且内斜式双排桩支护结构变形控制效果优于外斜式双排桩支护结构, 但所需肥槽宽度较大; (2) 止水 (泥) 帷幕结合基坑降排水要求进行设置, 可优先将竖直桩嵌入止水 (泥) 帷幕;
	预制桩/灌注桩/型钢桩/钢管桩 (外斜式)			(3) 内斜式支护结构桩间土可采用喷面挂网进行保护; (4) 不宜用于开挖深度大于 12m 的基坑。
“八字形”组合支护结构	预制桩/灌注桩/型钢桩/钢管桩 (紧凑型)			(1) 内斜桩与外斜桩相结合, 支护结构稳定性特别是抗倾覆效果好, 变形控制效果优于斜直交替支护结构; (2) 止水 (泥) 帷幕结合基坑降排水要求进行设置, 可优先布置于前后排支护桩之间;
	预制桩/灌注桩/型钢桩/钢管桩 (分离型)			(3) 桩间土可采用喷面挂网进行保护; (4) 不宜用于开挖深度大于 10m 的基坑。
				(1) 内斜桩与外斜桩相结合, 支护结构稳定性特别是抗倾覆效果好, 变形控制效果优于斜直组合双排桩支护结构; (2) 止水 (泥) 帷幕结合基坑降排水要求进行设置, 可优先布置于前后排支护桩之间; (3) 桩间土可采用喷面挂网进行保护; (4) 不宜用于开挖深度大于 14m 的基坑。

续表 4.1.3

结构形式	斜桩类型	示意图	俯视图	构造及适用条件
“个”字形组合支护结构	预制桩/灌注桩/型钢桩/钢管桩			<p>(1) 支护结构稳定性特别是抗倾覆效果好, 变形控制效果优于斜直交替支护结构及紧凑型“八字形”组合支护结构;</p> <p>(2) 止水(泥)帷幕结合基坑降排水要求进行设置, 可优先将竖直桩嵌入止水(泥)帷幕;</p> <p>(3) 桩间土可采用喷面挂网进行保护;</p> <p>(4) 不宜用于开挖深度大于 12m 的基坑。</p>

注: 1 图中的数字标引分别表示: 1—坑底线, 2—冠梁, 3—内斜桩, 4—竖直桩, 5—连梁, 6—外斜桩;

2 倾斜桩支护结构适用于安全等级为一级、二级、三级的基坑;

3 当基坑各部位的地质条件、开挖深度及周边环境条件等不同时, 可在不同部位采用不同支护形式。当位于软土地层时, 适用的开挖深度宜适当减小; 当坡顶具备放坡条件时, 适用的开挖深度可适当加大; 具体适用深度应结合计算分析确定。

4.1.4 基坑倾斜桩支护设计应包括下列内容:

- 1 支护结构方案选型;
- 2 支护结构体系上的作用和作用组合确定;
- 3 支护结构的承载力、稳定性和变形计算;
- 4 地下水控制设计及技术要求;
- 5 基坑周边环境的影响分析及控制要求;
- 6 基坑开挖与回填要求;
- 7 支护结构施工要求;
- 8 基坑工程施工验收检验要求;
- 9 基坑工程监测与维护要求。

4.1.5 基坑倾斜桩支护应根据支护结构形式采用数值分析方法进行变形、内力及稳定性分析。在方案设计阶段, 可采用简化计算方法进行计算。

4.1.6 基坑倾斜桩支护工程应根据工程地质与水文地质条件、施工条件等因素进行止水(泥)帷幕设计, 止水帷幕可与支护桩分离布置, 也可以将支护桩嵌入止水帷幕中。止水帷幕可选用水泥

土搅拌桩、高压旋喷桩等工艺，具体构造应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。

4.1.7 基坑倾斜桩支护工程地下水控制应根据倾斜桩的布置形式采用合适的截水、降水、集水明排或其他降排水措施。

4.1.8 基坑采用倾斜桩支护时，应评估倾斜支护桩对基坑内地基基础或坑外既有建（构）筑物、管线等的影响，必要时应采取有效保护措施。

4.1.9 当周边环境条件变形控制要求严格时，可采用水泥土搅拌桩或高压旋喷桩等工艺进行桩间土或被动区土体加固。

4.2 土压力计算

4.2.1 基坑支护结构体系上的作用与作用组合，应包括下列内容：

- 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）筑物荷载；
- 3 基坑周边材料和设备荷载；
- 4 基坑周边道路及施工车辆荷载；
- 5 温度等其他因素产生的作用。

4.2.2 计算成层土的土压力时，各土层计算厚度应符合下列规定：

- 1 当同一计算剖面内土层厚度较均匀且层面坡度较平缓时，宜取该剖面内各勘察孔揭露土层厚度的平均值；
- 2 当同一计算剖面内各勘察孔揭露的土层厚度分布不均时，应根据地层分布对剖面划分进行调整，并取各剖面内最不利勘察孔的各土层厚度；

3 对于复杂地层或计算同一剖面内未布置勘察孔时，应通过综合分析土层变化确定土层计算厚度。

4.2.3 当倾斜桩组合支护结构的主动区迎土面是竖直桩时，作用于倾斜桩组合支护结构中竖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下列公式计算（图 4.2.3）：

1 对地下水位以上或水土合算的土层:

$$p_{ak} = \sigma_{ak} K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} \quad (4.2.3-1)$$

$$K_{a,i} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2}) \quad (4.2.3-2)$$

$$p_{pk} = \sigma_{pk} K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} \quad (4.2.3-3)$$

$$K_{p,i} = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi_i}{2}) \quad (4.2.3-4)$$

式中: p_{ak} —— 支护桩主动土压力强度标准值(kPa); 当 $p_{ak} < 0$ 时, 应取 $p_{ak} = 0$;

σ_{ak} 、 σ_{pk} —— 分别为支护桩主动侧、被动侧计算点的土中竖向应力标准值(kPa), 应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中的有关规定确定;

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

c_i 、 φ_i —— 分别为第 i 层土的黏聚力(kPa)、内摩擦角($^\circ$); 应按照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中的有关规定取值;

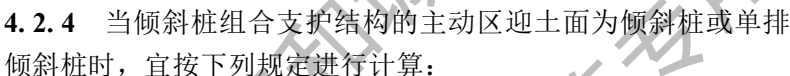
p_{pk} —— 支护桩被动土压力强度标准值(kPa)。

2 对水土分算的土层:

$$p_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a) K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (4.2.3-5)$$

$$p_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p) K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} + u_p \quad (4.2.3-6)$$

式中: u_a 、 u_p —— 分别为基坑主动侧、被动侧静止地下水压力(kPa), 应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中的有关规定确定。


$$p_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a)K_{a,i} + u_a \quad (4.2.4-1)$$

$$p_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p)K_{p,i} + u_p \quad (4.2.4-3)$$

式中: θ ——倾斜桩与竖直方向的夹角 ($^{\circ}$); 对于内斜桩, θ 应取正值; 对于外斜桩, θ 应取负值。

17

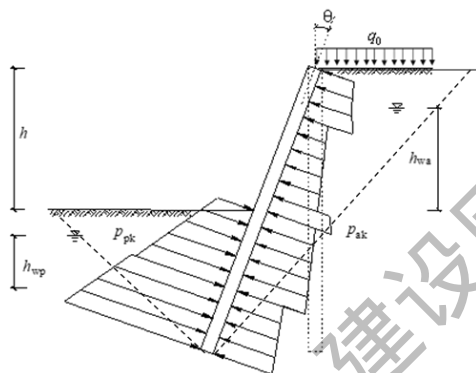


图 4.2.4 倾斜桩的土压力计算

4.2.5 基坑周边附加荷载作用在支护结构所产生的附加竖向应力标准值应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中的有关规定确定。

4.3 结构分析

4.3.1 倾斜桩支护结构在方案设计阶段，可根据支护结构形式、受力与变形特性按下列简化方法进行分析：

1 单排倾斜桩支护结构，宜采用平面杆系结构弹性支点法进行结构分析；

2 斜直交替倾斜桩支护结构和“个字形”组合支护结构，可将整个结构分解为挡土结构、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；斜桩对挡土构件的约束作用应按弹性支座进行简化考虑，作用在弹性支座上的荷载应取挡土结构分析时得出的支点力；对挡土结构和斜桩简化支座分别进行分析时，应考虑二者的变形协调；

3 斜直组合双排桩支护结构、“八字形”组合支护结构及其他倾斜桩组合支护结构，应采用数值分析方法对支护结构进行计算分析。

4.3.2 单排倾斜桩支护结构采用平面杆系结构弹性支点法进行

简化计算时，宜采用下列计算模型（图 4.3.2），并宜符合下列规定：

1 倾斜桩的主动土压力标准值按本标准第 4.2.4 条确定，主动土压力计算宽度宜取桩间距，土反力计算宽度可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定确定；

2 倾斜桩嵌固段的土反力可按公式（4.3.2-1）进行估算；土的法向刚度系数可按公式（4.3.2-2）进行估算。土的反力系数的比例系数 m 应考虑倾斜桩倾角的影响，并结合地区经验进行取值；当缺少地区经验时，可按公式（4.3.2-3）进行估算：

$$p_{ni} = k_{ni} v_{ni} + p_{s0} \quad (4.3.2-1)$$

$$k_{ni} = m(z - h) \quad (4.3.2-2)$$

$$m = e^{0.001(\cos \theta - 1)[\varphi^2 + 70\varphi + 30\epsilon]} \times \frac{0.2\varphi^2 - \varphi + c}{v_b} \quad (4.3.2-3)$$

式中： P_{ni} —— 倾斜桩嵌固段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} —— 土反力计算点的倾斜桩的法向位移值（m）；
 P_{s0} —— 分布土反力初始值（kPa），对于倾斜桩嵌固端上的基坑内侧初始分布土反力，可按朗肯主动土压力公式估算；
 m —— 倾斜桩的法向土反力刚度系数的比例系数（MN/m⁴）；
 z —— 倾斜桩计算点距地面的深度（m）；
 h —— 基坑开挖深度（m）；
 v_b —— 挡土构件在坑底处的水平位移量（mm），当此处的水平位移不大于 10mm 时，可取 $v_b = 10\text{mm}$ 。

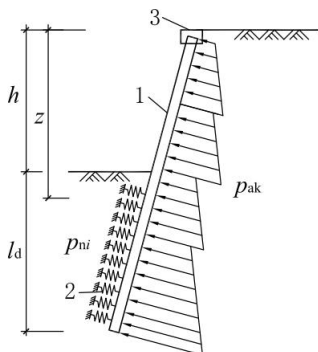


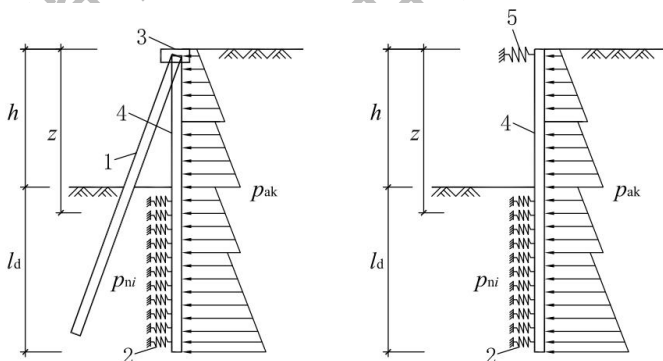
图 4.3.2 单排倾斜桩悬臂式支护结构弹性支点法计算模型

1—倾斜桩；2—计算土反力的弹性支座；3—冠梁

4.3.3 斜直交替倾斜桩支护结构采用平面杆系结构弹性支点法进行简化计算时，可采用简单元桩计算模型进行结构分析（图 4.3.3b）。

1 倾斜桩的主动土压力标准值、嵌固段的土反力，按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定确定；

2 斜桩对挡土构件的约束作用按弹性支座考虑，其边界条件应按本标准第 4.3.4 条确定。



(a) 弹性支点法计算模型

(b) 简单元桩计算模型

图 4.2.6 斜直交替支护结构弹性支点法计算模型

1—斜桩；2—计算土反力的弹性支座；3—冠梁；4—直桩；5—由斜桩简化的弹性支座

4.3.4 内斜桩和外斜桩对挡土构件的作用进行简化计算时,应按
下式确定:

$$F_h = k_R (v_R - v_{R0}) \quad (4.3.4)$$

式中: F_h —— 挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力 (kN);

k_R —— 计算宽度内弹性支点刚度系数 (kN/m), 可按
本标准第 4.3.5 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} —— 设置支点时, 支点的初始水平位移值 (m)。

4.3.5 内斜桩的弹性支点刚度系数宜通过对倾斜桩水平静载试
验得出的支点力与水平位移的关系确定。当无倾斜桩水平静载试
验资料时, 计算宽度内倾斜桩的弹性支点刚度系数 (k_R) 可按下
式进行迭代估算:

$$k_R = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} \quad (4.3.5-1)$$

$$K_1 = \frac{E A b_a}{L_h s} \sin^2 \theta \quad (4.3.5-2)$$

$$K_2 = \frac{F_h b_a}{\Delta_p s} \quad (4.3.5-3)$$

式中: K_1 —— 开挖面以上倾斜桩的杆件水平刚度 (kN/m);

K_2 —— 开挖面以下倾斜桩的水平刚度 (kN/m);

E —— 倾斜桩桩身材料的弹性模量 (kPa);

s —— 倾斜桩水平间距 (m);

θ —— 倾斜桩与竖直方向的夹角 (°);

L_h —— 倾斜桩位于开挖面以上的长度 (m);

b_a —— 挡土结构计算宽度 (m);

倾斜桩在开挖面处的桩顶轴向位移 (m), 可取

Δ_p —— 同等条件下倾斜桩嵌固段在支点反力作用下的
沉降计算值。

4.3.6 外斜桩等效的弹性支点刚度系数宜通过对倾斜桩水平静载试验得出的支点力与水平位移的关系确定。在缺少试验时，外斜桩的弹性支点刚度系数可按下列公式估算：

$$k_R = \frac{EAb_a}{L_w s} \sin^2 \theta \quad (4.3.6)$$

式中： L_w —— 外斜桩长度（m）。

4.3.7 倾斜桩嵌固段上的基坑内侧土反力应满足式（4.3.7）的要求；当不满足要求时，应增加倾斜桩的嵌固深度或取 $P_{sk} = E_{pk}$ 时分布的土反力。

$$P_{sk} \leq E_{pk} \quad (4.3.7)$$

式中： P_{sk} —— 挡土构件嵌固段上的基坑被动侧土反力标准值（kN），对于单排倾斜桩，可按本标准第 4.2.4 条计算的分布土反力得出；对于斜直交替支护结构竖直桩，可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 计算的分布土反力得出；

E_{pk} —— 挡土构件嵌固段上的基坑内侧被动土压力标准值（kN），对于单排倾斜桩，应按本标准第 4.2.4 条计算得出，也可采用库仑土压力理论图解法计算的被动土压力标准值；对于斜直交替支护结构，应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 计算的被动土压力标准值得出。

4.3.8 倾斜桩支护结构采用数值分析方法进行受力与变形分析时，宜考虑如下因素：

1 可采用平面有限元方法进行分析，当基坑的空间效应明显时，宜采用三维有限元方法进行分析；

2 宜建立包括岩土体、支护结构、分层开挖工况及邻近建（构）筑物在内的有限元模型，采用合理的计算域和与实际情况相符的边界条件，对基坑施工进行全过程模拟，且应考虑基坑周围既有建（构）筑物对初始地应力场的影响；

3 应选用合理的土体本构模型及计算参数；黏性土及软弱地层宜选用能考虑土的塑性和应变硬化特征、能区分加荷和卸荷且刚度依赖于应力水平的硬化型弹塑性本构模型；计算参数应结合本构模型的定义、勘察报告指标及工程经验综合确定；

4 围护结构与土体之间宜设置接触面单元模拟结构与土体的相互作用，并确定合理的计算参数；

5 冠梁对支护结构的约束应结合支护桩与冠梁间连接状况进行模拟。

4.3.9 倾斜桩及其组合支护结构的桩身截面应按压弯或拉弯构件进行设计。

4.3.10 冠梁应根据数值分析结果进行正截面、斜截面、受冲切及抗扭承载力验算，并结合支护桩的布置形式进行配筋设计。

4.4 稳定性验算

4.4.1 倾斜桩支护结构应进行整体稳定性、抗倾覆稳定性、抗隆起稳定性和抗渗流稳定性验算，并按最不利工况进行结构设计。

4.4.2 倾斜桩支护结构整体稳定性验算，应符合下列规定：

1 整体稳定性采用圆弧滑动条分法进行验算；

2 采用圆弧滑动条分法时，整体稳定性应按下列公式进行验算（图 4.4.2-1、图 4.4.2-2）：

$$K_s = \min \{K_{s,1}, K_{s,2}, \dots, K_{s,i}, \dots\} \quad (4.4.2-1)$$

$$K_{s,i} = \frac{\sum \{c_j l_j + [(q_j l_j + \Delta G_j) \cos \beta_j - u_j l_j] \tan \varphi_j\}}{\sum (q_j b_j + \Delta G_j) \sin \beta_j} \quad (4.4.2-2)$$

式中： K_s —— 圆弧滑动整体稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支挡结构， K_s 应分别不小于 1.35、1.30、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

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

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

q_j ——作用在第 j 土条上的附加分布荷载标准值(kPa);

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 $u_j = \gamma_w h_{\text{wa},j}$ ，在基坑内侧，可取 $u_j = \gamma_w h_{\text{wp},j}$ ；在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土，应取 $u_j = 0$ ；

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

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

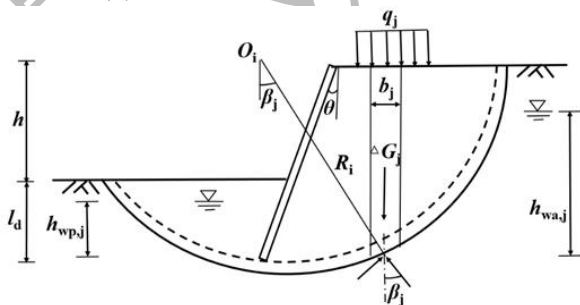


图 4.4.2-1 单排倾斜桩圆弧滑动条分法整体稳定性验算

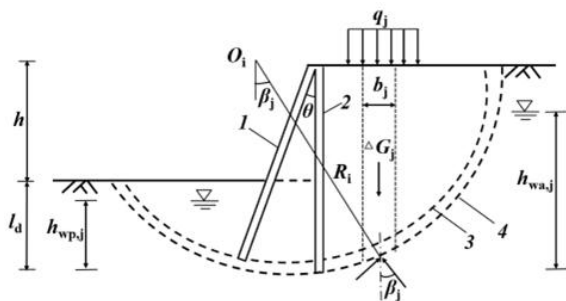


图 4.4.2-2 倾斜桩组合支护结构圆弧滑动条分法整体稳定性验算

1—倾斜桩；2—竖直桩；3—倾斜桩滑弧；4—竖直桩滑弧

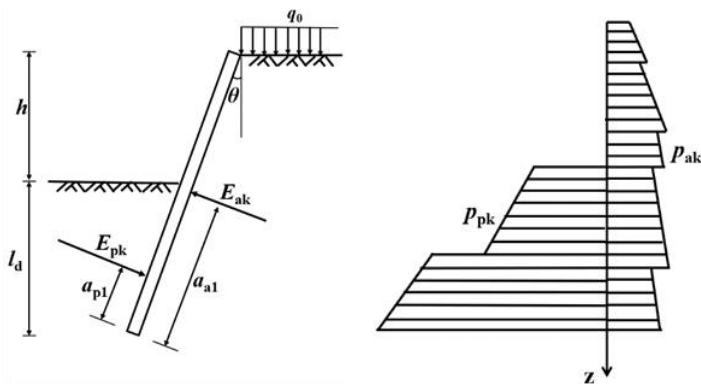
4.4.3 单排倾斜桩支护结构嵌固深度的抗倾覆稳定性应按式验算（图 4.4.3）：

$$K_{cm} = \frac{E_{pk} a_{pl}}{E_{ak} a_{al}} \quad (4.4.3)$$

式中： K_{cm} —— 嵌固（抗倾覆）稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支挡结构， K_{cm} 应分别不小于 1.25、1.20、1.15；

E_{ak} 、 E_{pk} —— 基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力法向合力的标准值（kN），应按本标准公式（4.4.3-1）、公式（4.4.3-3）计算相应的主动土压力和被动土压力；

a_{al} 、 a_{pl} —— 基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力合力作用点至倾斜桩底端的距离（m）。



(a) 倾斜桩受力简化示意图 (b) 土压力分布图

图 4.4.3 倾斜桩支护结构抗倾覆稳定性验算

注：图中主、被动侧土压力分布为沿埋深大小分布，不代表方向。

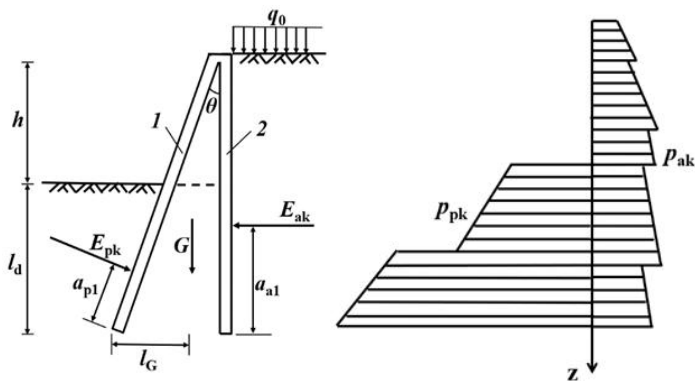
4.4.4 内斜式倾斜桩组合支护结构嵌固深度的抗倾覆稳定性按下式验算（图 4.4.4）：

$$K_{em} = \frac{E_{pk} a_{p1} + Gl_G}{E_{ak} a_{a1}} \quad (4.4.4)$$

倾斜桩组合支护结构的桩间土自重之和（kN），当基坑开挖过程中及开挖后不能保证基坑底面以上的桩间土不出现塌落时，宜仅考虑开挖面以下、前后排桩的底端以上的桩间土体重度；当基坑开挖过程中及开挖后能保证基坑底面以上的桩间土不出现塌落时，可考虑开挖面以上桩间土体重度；当前后排桩底端标高不一致时，取较浅桩端标高进行计算；

式中： G ——

l_G ——倾斜桩组合支护结构的桩间土的重心至前桩桩底的水平距离（m）。



(a) 支护结构受力图 (b) 土压力分布图

图 4.4.4 倾斜桩组合支护结构抗倾覆稳定性验算

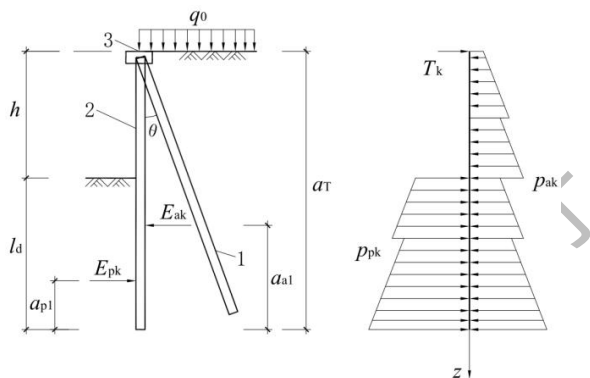
1—倾斜桩；2—竖直桩

注：图中主、被动侧土压力分布为沿埋深大小分布，不代表方向。

4.4.5 外斜式倾斜桩组合支护结构嵌固深度的抗倾覆稳定性应按式验算（图 4.4.5）：

$$K_{em} = \frac{E_{pk} a_{p1} + T_k a_T}{E_{ak} a_{a1}} \quad (4.4.5)$$

外斜式倾斜桩轴向承载力水平分力标准值（kN），由倾斜桩轴向承载力水平分量计算得到；倾斜桩轴向承载力可取倾斜桩有效桩长范围内土体侧摩阻力与桩身抗拔承载力的较小值；
 a_T ——外斜式倾斜桩与竖直桩交叉点位置至竖直桩桩底的垂直距离（m）。



(a) 支护结构受力图 (b) 土压力分布图

图 4.4.5 倾斜桩组合支护结构抗倾覆稳定性验算

1—外斜式倾斜桩；2—竖直桩；3—冠梁

4.4.6 倾斜桩支护结构的坑底隆起稳定性验算应符合下列规定：

1 支护结构的嵌固深度应按下列公式进行计算(图 4.4.6-1)：

$$K_{he} = \frac{\gamma_{m2} DN_q + cN_c}{\gamma_{m1}(h + D) + q_0} \quad (4.4.6-1)$$

$$N_q = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) e^{\pi \tan \varphi} \quad (4.4.6-2)$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi \quad (4.4.6-3)$$

式中： K_{he} ——抗隆起安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支护结构， K_{he} 应分别不小于 1.8、1.6、1.4；
 γ_{m2} ——基坑外挡土构件底面以上土的重度（kN/m³）；
 γ_{m1} ——对地下水位以下的砂土、碎石土、粉土应取浮重度；对多层土应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、粉土应取浮重度；对多层土应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）；
 q_0 ——地面均布荷载（kPa）；
 N_c 、 N_q ——承载力系数；
 c ——倾斜桩桩底面以下土的黏聚力（kPa）；
 φ ——倾斜桩桩底面以下土的内摩擦角（°）。

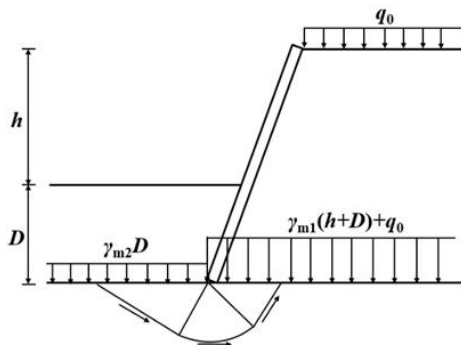


图 4.4.6-1 挡土构件底端平面下土的抗隆起稳定性验算

2 当支护结构构件底面以下存在有软弱下卧层时，支护结构构件底部土的抗隆起稳定性验算应包括软弱下卧层部分（图 4.4.6-2）。

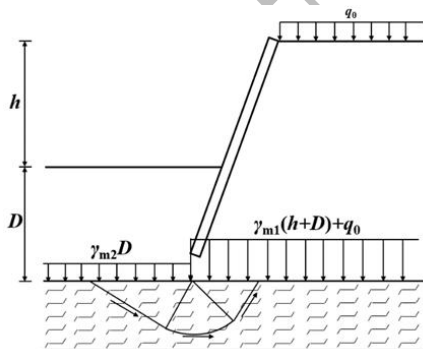


图 4.4.6-2 软弱下卧层的抗隆起稳定性验算

注：当挡土构件地面以下有软弱下卧层时公式（4.4.6-1）的 γ_{m1} 、 γ_{m2} 应取软弱下卧层顶面以上土的重度（图 4.4.6-2）， D 应取基坑底面至软弱下卧层顶面的土层厚度。

4.4.7 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,应验算承压水作用下的坑底突涌稳定性;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,应验算地下水渗流的流土稳定性。坑底抗突涌、坑底和侧壁抗渗流稳定性验算应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 规定。

4.5 构造

4.5.1 倾斜组合支护结构在平面布置上不应与工程桩交叉或重叠,且倾斜桩与工程桩的净距不宜小于 500mm。

4.5.2 倾斜桩轴线与铅垂线的夹角不宜小于 10° ,且不宜大于 30° 。

4.5.3 倾斜桩支护结构冠梁外包支护桩宽度不宜小于 200mm,冠梁高度不宜小于桩径或桩截面长边边长的 0.6 倍,且不宜小于 500mm。

4.5.4 当倾斜桩轴向承载力不足时,可采用搅拌桩或高压旋喷桩先行加固、后插倾斜桩的方式提高轴向承载力。

4.5.5 倾斜桩采用钢筋混凝土预制桩时,冠梁构造应符合下列规定:

1 桩顶嵌入冠梁长度应满足冠梁节点刚接要求,且不宜小于 300mm;

2 在预制桩布置的区域,应在冠梁两侧支护桩外扩部分各设置一道通长暗梁,暗梁应设置通长纵筋及闭合箍筋;在预制桩未布置的区域,应对整个冠梁设置闭合箍筋,且闭合箍筋应与通长暗梁钢筋形成冠梁整体配筋;冠梁构造做法详见本标准附录 B;

3 冠梁在桩顶以上留设厚度应通过冠梁对支护桩抗冲切计算确定,配筋应根据计算确定;

4 冠梁与支护桩间应设置可靠连接措施;对于内斜桩,冠梁应满足对内斜桩的抗剪、抗冲切要求;对于外斜桩,冠梁应满足

对外斜桩的抗拔要求；

5 预制空心混凝土斜桩桩头与冠梁的连接宜采用填芯钢筋笼与冠梁相连接，填芯钢筋笼长度同填芯高度；内斜预制桩填芯混凝土高度不宜小于 $3.0d$ （ d 表示预制桩桩径）及 1.5m ，外斜预制桩填芯混凝土高度应通过计算确定，且不小于 $6.0d$ 及 3m 。

4.5.6 倾斜桩采用型钢桩或钢管桩时，冠梁构造应符合下列规定：

1 当型钢桩或钢管桩与冠梁采用嵌入方式进行锚固时，桩顶嵌入冠梁长度应满足冠梁节点刚接要求，且在桩顶以上留设厚度应通过冠梁对支护桩抗冲切计算确定；冠梁可参照本标准附录 B 钢筋混凝土预制桩的构造做法；

2 当型钢桩或钢管桩与冠梁采用穿透方式进行锚固时，桩顶与冠梁间应紧密贴合；当采用隔离材料设置隔离措施时，应采取设置抗剪件或加焊栓钉等有效限位措施确保支护桩轴向抗压及抗拔要求；

3 当型钢桩或钢管桩与冠梁采用穿透方式进行锚固时，在型钢桩布置的区域，应在冠梁两侧支护桩外扩部分各设置一道通长暗梁，暗梁应设置通长纵筋及闭合箍筋；在型钢桩或钢管桩未布置的区域，应对整个冠梁设置闭合箍筋，且闭合箍筋应与通长暗梁钢筋形成冠梁整体配筋；冠梁构造做法详见本标准附录 B。

4.5.7 倾斜桩采用灌注桩时，冠梁构造应符合下列规定：

1 倾斜灌注桩顶部应设置冠梁，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% ；

2 灌注桩应伸入冠梁底面以上不少于 100mm ，主筋伸入冠梁不少于 $30d$ （ d 为钢筋直径），冠梁可参照本标准附录 B 钢筋混凝土预制桩的构造做法。

4.5.8 斜直组合双排桩支护结构应满足下列规定：

1 前排桩、后排桩的桩顶间距宜取桩径或桩身宽度的 $2\sim 6$

倍，前排桩净距不宜大于 1m，且前排桩间应采取防止土体塌落措施；

2 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，与前排桩、后排桩形成刚性连接，连梁或厚板受力钢筋应错入冠梁，且应满足受力要求。

4.5.9 倾斜桩及其组合支护结构不宜侵入地下结构，当倾斜桩侵入地下结构时，应采取如下措施：

1 当倾斜型钢桩侵入地下结构时，应在型钢桩与基础底板或地下室外墙交叉部位处焊接环形止水钢板，止水钢板宽度不应小于 100mm；

2 当倾斜钢管桩侵入地下结构时，应在钢管桩与基础底板或地下室外墙交叉位置处焊接环形止水钢板，止水钢板宽度不应小于 100mm；钢管桩内可采取水下浇注混凝土或注浆的方法进行内封闭，也可在钢管内部采用钢板焊接、封闭，管口焊封后，用水泥砂浆填入基础板面预留孔洞、抹平；

3 当倾斜预制桩侵入地下结构时，宜在预制桩位置处预留洞口，待地下室底板施工完成并破除预制桩后，再进行底板封闭。

5 施 工

5.1 一般规定

5.1.1 基坑倾斜桩支护工程施工前,应编制基坑工程专项施工方案,其内容应包括:倾斜桩支护结构、地下水控制、土方开挖和回填等施工技术参数,基坑工程施工工艺流程,基坑工程施工方法,基坑工程施工安全技术措施,应急预案,工程监测要求等。

5.1.2 倾斜桩支护施工前,应根据倾斜桩施工所需的施工空间对周边环境进行调查、确认。

5.1.3 倾斜桩施工机械应综合考虑施工场地条件、周围环境、土质条件、施工工艺和桩型要求等进行选取,可选用静压沉桩、高频振动沉桩或钻孔成桩等施工工艺,采用型钢桩、钢管桩或预制桩等桩型时,可采用先引孔后植桩工艺。当采用沉桩或成孔新工艺时,大面积施工前应进行工艺试验。

5.2 倾斜桩施工

5.2.1 倾斜桩支护结构施工不应影响基坑周边建(构)筑物的安全和正常使用,必要时应采取隔振、防侧向挤土等减小扰动的措施。

5.2.2 施工场地平整度、地基承载力应满足沉桩机械承重、运输和施工要求。

5.2.3 倾斜桩施工机具或设备工作半径与周围建(构)筑物应保持安全距离,且应充分考虑桩节倾斜施工时的空间位置变化影响。

5.2.4 倾斜桩工程施工前,应根据设计倾斜角度、送桩深度及设备高度计算桩位线、入土线及对位线,桩位复核无误后方可按顺

序施工。

5.2.5 倾斜桩支护结构施工时，竖直桩、倾斜桩的施工顺序应结合平面相对位置关系、止水帷幕布置及试成桩情况进行确定，且应符合下列规定：

1 当支护桩嵌入止水（泥）帷幕时，可与止水（泥）帷幕同步进行施工，先行施工止水（泥）帷幕，后植入支护桩；

2 当支护桩与止水（泥）帷幕分开设置，且支护桩沉桩存在较为显著的挤土或振动时，宜先行施工支护桩，后施工止水（泥）帷幕；

3 当倾斜桩按进入预定持力层深度进行桩长控制时，宜预先判定沉桩后倾斜桩与竖直桩、止水（泥）帷幕的平面位置关系以确定施工先后顺序。

5.2.6 支护桩采用静压法沉桩时，应符合下列规定：

1 施工前应根据定位控制点引测定位轴线，并进行倾斜桩桩位放线，桩位放线位置应采取保护措施；

2 沉桩施工应结合现场情况划分施工区段、安排沉桩顺序；

3 沉桩前，应测量桩的倾斜角度并检查桩身质量，检查合格后方可施工；

4 压桩时，应在对正桩位且夹持器抱紧支护桩后，进行设备调平，调整桩身倾斜角度满足设计要求后压入；沉桩过程中，应及时校核桩身倾斜角度；

5 送桩时，应采用专用钢质送桩器，不应将工程桩用作送桩器；

6 当环境保护要求较高时，应控制日压桩量。

5.2.7 静压法沉桩过程中，当出现下列情况之一时，应暂停施工作业，在查明原因并采取相应处置措施后，方可继续施工：

1 实际沉桩情况与勘察报告中的土层性质不符；

2 沉桩难以穿越具有软弱下卧层的硬夹层，且实际压入的桩长与设计桩长不一致；

- 3 沉桩施工机械出现异常情况；
- 4 预制桩桩身出现纵向裂缝或桩头混凝土出现剥落等质量缺陷；
- 5 桩身夹持机具打滑；
- 6 压桩机下陷不能正常工作；
- 7 沉桩过程中桩身垂直度或倾斜角度与设计文件不一致。

5.2.8 预制桩接桩应符合下列规定：

1 预制桩接桩时，其入土部分桩段宜高出地面 0.5m~1.0m，桩段的连接应采用机械连接，接头性能应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定；

2 下节桩的桩头处宜设导向箍，接桩时，上下节桩段应保持顺直，错位偏差不宜大于 2mm；

3 单根桩的接头数量不宜超过 1 个，接头应设置在截面弯矩较小处，相邻桩的接头竖向位置宜相互错开，错开距离不宜小于 2m；

4 预制桩桩段接头的抗弯性能不应低于预制桩桩身的抗弯性能。

5.2.9 型钢桩或钢管桩施工应符合下列规定：

1 型钢桩或钢管桩的规格、材质及排列方式应符合设计或施工工艺要求；

2 型钢桩或钢管桩进场后应进行尺寸、外形检查；

3 桩身接头在同一标高处不应超过 50%，当需要分段焊接时，应采用坡口焊等强度焊接，接头焊缝质量不应低于Ⅱ级焊缝要求；

4 型钢桩或钢管桩应根据周边环境保护要求，采用分次、分段、跳拔的顺序进行拔桩，拔出后的空隙宜采用细砂或注浆等方式充填密实。

5.2.10 倾斜灌注桩施工应符合下列规定：

1 倾斜灌注桩可根据地层的可钻性、自稳性及地下水情况，

采用干作业成孔、泥浆护壁成孔或全套管成孔钻进等施工工艺；施工前应进行试成孔，试成孔数量应根据工程规模和地质条件确定，且不少于 2 根；

2 倾斜灌注桩施工前，应根据设计倾斜角度结合下返深度、设备高度分别计算桩位线、入土线及对位线；桩位复核无误后，方可按顺序施工；

3 采用旋挖机结合全套管全回转钻机进行成桩作业时，宜结合倾斜灌注桩设计倾角，设置混凝土斜向导向垫层，确保成孔倾角满足设计要求；采用全套管全回转钻机护壁、旋挖钻机取土的组合工艺时，全套管应跟进旋挖取土，直至成孔完成；对于地质条件较好的地层，全回转全套管钻机宜采用短套管，旋挖钻机采用短钻杆取土；对于软弱地层，全回转全套管钻机宜采用长套管，旋挖钻机采用长钻杆取土；

4 倾斜灌注桩施工应间隔跳钻成孔，隔跳钻成孔安全距离不小于 $4d$ (d 为桩径) 或最短时间间隔不应小于 36h；

5 倾斜灌注桩施工过程中，禁止施工设备碾压桩头；

6 基坑开挖应在桩身混凝土龄期达到 28d 后方可进行。

5.2.11 冠梁施工应符合下列规定：

1 支护桩与冠梁之间的锚固应满足设计文件要求；

2 土方开挖至冠梁底标高后，应在冠梁底标高处施作垫层，垫层宽度每侧宜超出冠梁宽度 100mm；

3 当采用型钢桩或钢管桩，且需设置抗剪键时，冠梁钢筋绑扎及混凝土浇筑应待抗剪键施工完成后方可实施。

5.3 土方开挖

5.3.1 土方开挖应符合下列规定：

1 土方开挖前，支护结构构件强度不应低于设计强度要求；

2 土方开挖的顺序应按照设计工况分层、分段开挖，土方开

挖机械不应碰撞或损害已施工完成的基础桩及支护桩；

3 当基坑进行降水时，地下水位应降至土方开挖分层开挖面或坑底以下 0.5m~1.0m 后，方可进行土方开挖；

4 基坑开挖应严格按照设计要求进行，不得超挖；机械开挖接近坑底设计标高后，应采用人工清土，不应扰动基底原状持力层；

5 当开挖土层性状或地下水情况与勘察报告或设计文件不一致或出现异常情况时，应立即停止土方开挖，并查明原因和采取处理措施后，方可继续挖土。

5.3.2 倾斜桩及其组合支护结构应采取桩间土防护措施，防护措施应符合下列规定：

1 单排倾斜桩应在内斜桩桩间土设置防护措施，可采用喷面挂网进行防护；

2 斜直交替支护结构、斜直组合双排桩支护结构应在内斜桩或竖直桩桩间设置防护措施；

3 “八字形”组合支护结构和“个字形”组合支护结构应在内斜桩间土设置防护措施；

4 面向基坑侧为竖直桩时，桩间土防护措施可结合止水帷幕进行设置；面向基坑侧为内斜桩时，桩间土宜采用喷面挂网进行防护。

5.3.3 倾斜桩支护结构桩间土喷面挂网施工应符合下列规定：

1 钢筋网片竖向固定筋宜插入桩间土体内，严禁在桩身钻孔固定；

2 面层喷射混凝土配合比宜通过试验确定，且宜掺加速凝剂；

3 喷射混凝土作业应与挖土协调、分段进行，同一段内混凝土护面应按自下而上的顺序进行均匀喷射，且喷头与支护桩应保持垂直；

4 喷射混凝土施工缝结合面应清除浮浆层和松散石屑；

5 喷射混凝土终凝 2h 后应及时喷水养护。

5.3.4 基坑开挖和支护结构使用期内，应符合下列规定：

1 基坑周边施工材料、设施或车辆荷载不应超过设计允许的超载限值；

2 基坑坑顶、坑底应采取截排水措施，且排水沟、集水井应采取防渗措施；

3 基坑周边地面宜作硬化或防渗处理；

4 基坑周边施工用水不应排入基坑或渗入地表；

5 基坑开挖过程应根据工程监测信息，实时调整土方开挖时间与顺序；

6 土方开挖至坑底后，应及时清底验槽，并进行混凝土垫层和主体地下结构施工；

7 当基坑出现渗漏时，应立即进行疏导、排泄并截断水源；

8 基坑肥槽应及时回填。

5.3.5 倾斜桩及其组合支护结构需结合设计要求设置换撑措施，换撑传力构件应满足设计要求后，方可进行下一道施工工序。

5.3.6 基坑土方回填应符合下列规定：

1 基础外墙有防水要求时，应在外墙防水施工完毕且验收合格后方可回填；

2 土方回填应与地下结构及基坑换撑设计工况保持一致；

3 土方回填宜对称、均衡进行，并应根据工程特点、填料性质、施工条件等因素合理选择压实机具。

5.4 施工安全与环境保护

5.4.1 倾斜桩支护工程施工安全管理除应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004 和《建筑施工安全检查标准》JGJ 59 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 预制桩、型钢桩或钢管桩在起吊、运输和堆放过程中，应避免因碰撞、摩擦等原因造成桩身变形和损伤；

2 应合理安排工程桩与支护桩的施工顺序,且支护桩应与工程桩保持有效距离;

3 施工完成的桩孔应及时回填或设置盖板、防护栏和提醒标识。

5.4.2 倾斜桩支护工程施工环境保护应符合国家现行标准《建筑工程绿色施工评价标准》GB/T 50640 和《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146 的有关规定,尚应符合下列规定:

1 预制桩、型钢桩或钢管桩施工时,宜结合周边环境情况采取设置防震沟、控制沉桩速率、设置隔离桩等措施减少沉桩的不利影响;

2 在饱和软土地层进行预制桩、型钢桩或钢管桩施工时,宜对孔隙水压力和土体位移进行监测,并结合孔隙水压力消散及土体位移情况合理调整施工顺序及速度;

3 当周边环境复杂、保护要求严格时,型钢桩或钢管桩拔除后留下的空隙应及时进行注浆填充,且应采取跳拔、随拔随灌浆、控制上拔速度、加强监测等措施,注浆宜采用环保型水泥基浆液。

6 质量检验与监测

6.1 质量检验

6.1.1 基坑倾斜桩支护工程施工中使用的原材料及半成品,应按现行有关施工质量验收标准进行检验。

6.1.2 基坑倾斜桩支护结构施工及质量检验应符合现行国家标准《建筑地基工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

6.1.3 倾斜桩施工结束后,宜对桩轴向承载力及桩身完整性等进行检验,轴向承载力可取用同等条件下竖直桩竖向承载力检验结果,且应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

6.1.4 预制桩的质量检验应符合下列规定:

- 1 预制桩轴线位置的允许偏差为 50mm;
- 2 倾斜预制桩角度的允许偏差为 0.5° ;
- 3 预制桩桩身弯曲度允许偏差为 $0.1\%L$ (L 为桩长);
- 4 桩长不小于设计长度,截面尺寸允许偏差为 10mm,桩顶标高允许偏差为 50mm;

5 预制桩的质量检验标准尚应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

6.1.5 型钢桩或钢管桩的质量检验应符合下列规定:

- 1 型钢桩或钢管桩轴线位置允许偏差为 50mm;
- 2 倾斜型钢桩或钢管桩角度的允许偏差为 0.5° ;
- 3 型钢桩或钢管桩桩身弯曲度允许偏差为 $2\%L$ (L 为桩长);
- 4 型钢桩或钢管桩长不小于设计长度,桩顶标高允许偏差为 50mm;

5 型钢桩或钢管桩接头检验宜采用探伤检测,且同一工程检测测量不应少于 3 个接头;

6 型钢桩或钢管桩的质量检验标准尚应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定。

6.1.6 倾斜灌注桩的质量检验应符合下列规定:

- 1 桩位允许偏差应为 50mm;
- 2 桩顶标高的允许偏差应为-50mm~+100mm;
- 3 倾斜角度允许偏差应为 0.5° ;
- 4 桩底沉渣厚度不大于 100mm。

6.1.7 土方开挖、土方回填的施工质量检验应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

6.2 监 测

6.2.1 基坑工程施工前,应结合基坑设计方案、地质条件、周边环境条件及施工方案等因素,制定合理的监测方案,精心组织和实施监测。

6.2.2 基坑监测工作应贯穿于基坑工程和地下工程施工全过程。监测工作应从倾斜桩支护结构施工开始,至地下工程施工完成且基坑回填完成为止;采用可回收支护桩时,应监测至支护桩回收完成且变形稳定后为止。

6.2.3 基坑倾斜桩支护工程的监测范围、项目、频率及预警值应根据基坑安全等级、支护结构类型、地质条件、开挖深度、周边环境及施工方法等按现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 的有关规定进行确定。

6.2.4 监测点的布置应能反映被监测对象的实际状况及其变化趋势,监测点应布置在监测对象受力及变形的关键点和特征点上。

6.2.5 当符合下列条件时,宜采用自动化监测系统实施监测:

1 需要进行高频次或连续实时观测的监测项目；
2 环境条件不允许或不可能用人工方式进行观测的监测项目；

3 影响操作人员身体健康安全的监测项目；

4 基坑安全等级为一级，且在施工关键工序作业期间，支护结构关键部位或重点保护环境设施的监测项目。

6.2.6 当工程监测出现异常或出现可能危及工程及周边环境安全的事故征兆时，应提高监测频率，并及时通知有关各方及时分析原因并采取应急措施。

6.2.7 基坑监测数据、现场巡查结果应及时整理和反馈。当出现下列情况时应立即停止土方开挖，并采取相关应急处理措施：

1 支护结构位移达到设计规定的位移限值，且有继续增长的趋势；

2 倾斜桩与冠梁发生明显错位现象；

3 支护结构位移速率增长且不收敛；

4 支护结构构件的内力超过其设计值；

5 基坑周边建筑物、道路、地面的沉降达到设计规定的沉降限值，且有继续增长的趋势；基坑周边建筑物、道路、地面出现裂缝，或其沉降、倾斜达到相关规范的变形允许值；

6 支护结构构件出现影响整体结构安全性的损坏；

7 基坑出现局部坍塌；

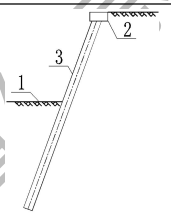
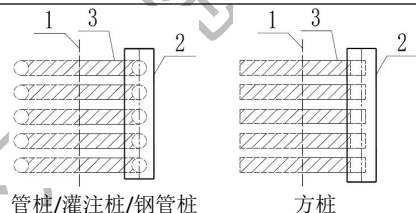
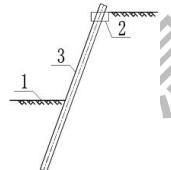
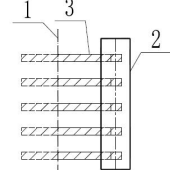
8 开挖面出现隆起现象；

9 基坑出现流土、管涌现象。

附录 A 倾斜桩支护结构布置形式

A.0.1 倾斜桩支护结构布置形式见表 A.0.1。

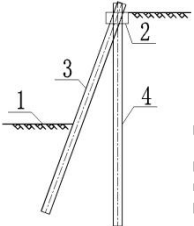
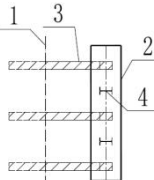
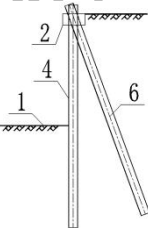
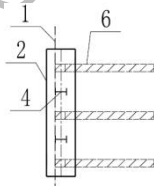
表 A.0.1 倾斜桩支护结构布置形式

结构形式	倾斜桩类型	示意图	俯视图
单排倾斜桩	管桩、方桩/灌注桩/钢管桩		
	型钢桩		

续表 A.0.1

结构形式	倾斜桩类型	示意图	俯视图
斜直交替支护结构	管桩、方桩/灌注桩/钢管桩 (内斜式)		<p>管桩/灌注桩/钢管桩 方桩</p>
	管桩、方桩/灌注桩/钢管桩 (外斜式)		<p>管桩/灌注桩/钢管桩 方桩</p>

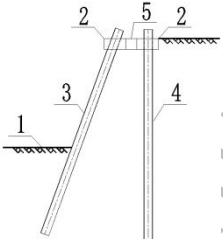
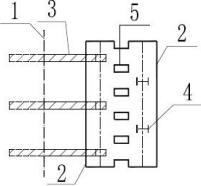
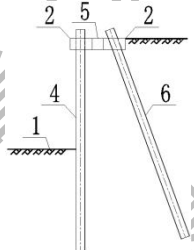
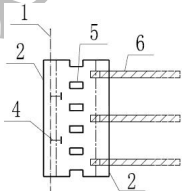
续表 A.0.1

结构类型	倾斜桩类型	示意图	俯视图
斜直交替支护结构	型钢桩 (内斜式)		
	型钢桩 (外斜式)		

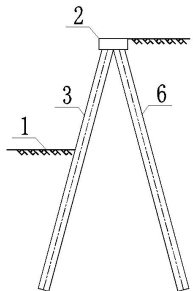
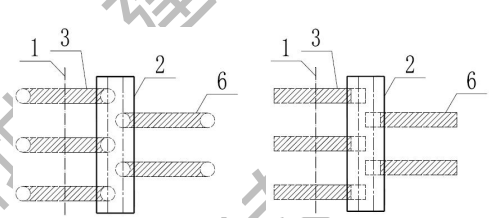
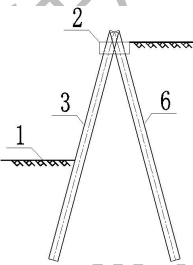
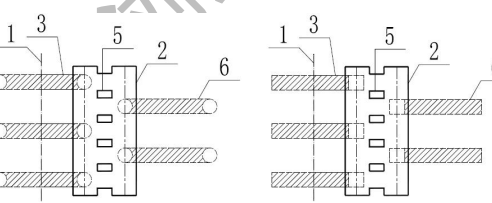
续表 A.0.1

结构类型	倾斜桩类型	示意图	俯视图
斜直组合双排桩支护结构	管桩、方桩/灌注桩/钢管桩 (内斜式)		<p>管桩/灌注桩/钢管桩 方桩</p>
	管桩、方桩/灌注桩/钢管桩 (外斜式)		<p>管桩/灌注桩/钢管桩 方桩</p>

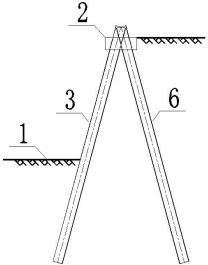
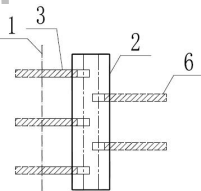
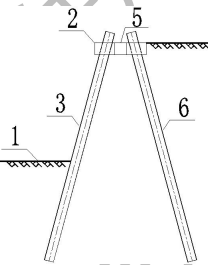
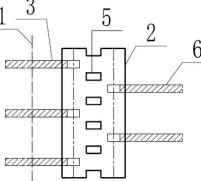
续表 A.0.1

结构类型	倾斜桩类型	示意图	俯视图
斜直组合双排桩支护结构	型钢桩 (内斜式)		
	型钢桩 (外斜式)		

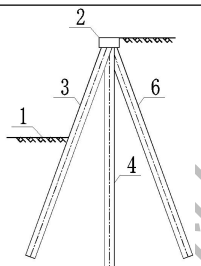
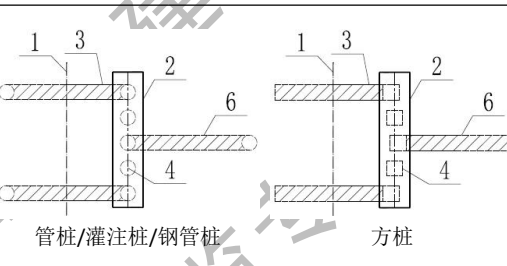
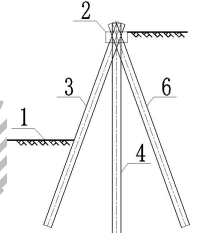
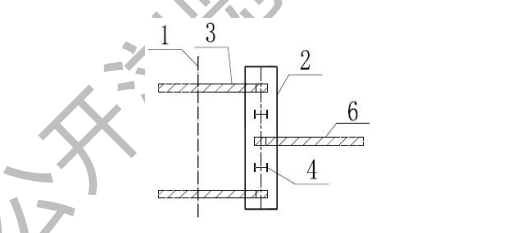
续表 A.0.1

结构类型	倾斜桩类型	示意图	俯视图
“八字形”组合支 护结构	管桩、方桩/ 灌注桩/钢 管桩 (紧凑型)		 <p>管桩/灌注桩/钢管桩 方桩</p>
	管桩、方桩/ 灌注桩/钢 管桩 (分离型)		 <p>管桩/灌注桩/钢管桩 方桩</p>

续表 A.0.1

结构类型	倾斜桩类型	示意图	俯视图
“八字形”组合支护结构	型钢桩 (紧凑型)		
	型钢桩 (分离型)		

续表 A.0.1

结构类型	倾斜桩类型	示意图	俯视图
“个字形”组合支护结构	管桩、方桩/灌注桩/钢管桩		 管桩/灌注桩/钢管桩 方桩
	型钢桩		

注：1 俯视图中的数字标引分别表示：1—坑底线，2—冠梁，3—内斜桩，4—竖直桩，5—连梁，6—外斜桩；

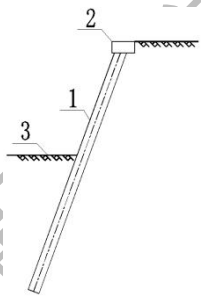
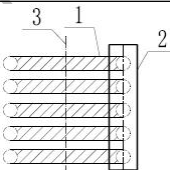
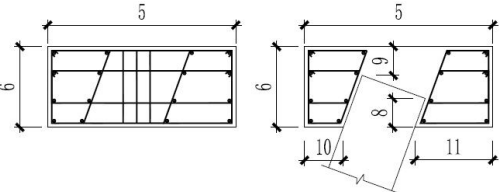
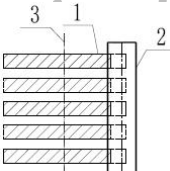
2 图中支护桩布置形式及间距应根据基坑工程实际情况进行计算确定；

3 其他桩型的倾斜桩支护结构可参考上述布置形式进行设置。

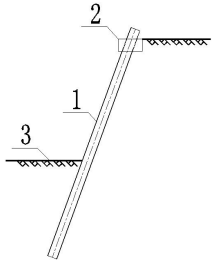
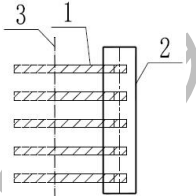
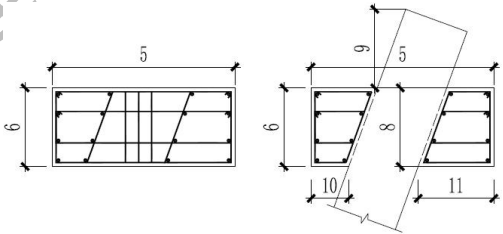
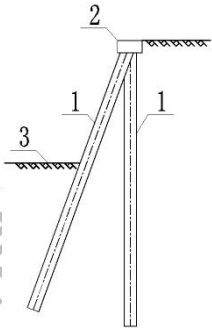
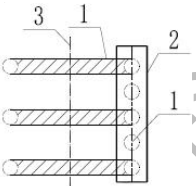
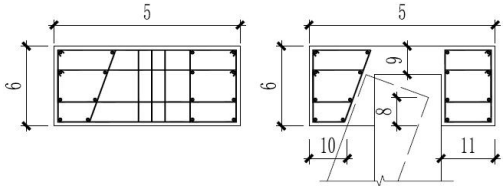
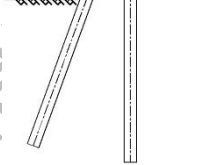
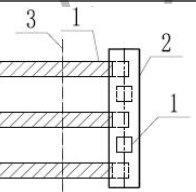
附录 B 倾斜桩支护结构冠梁配筋构造

B.0.1 倾斜桩及倾斜桩组合结构冠梁配筋构造见表 B.0.1。

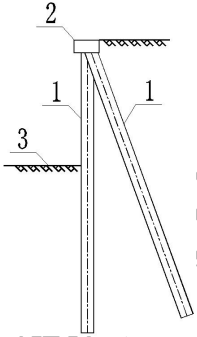
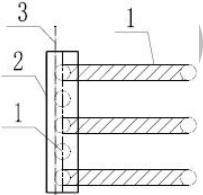
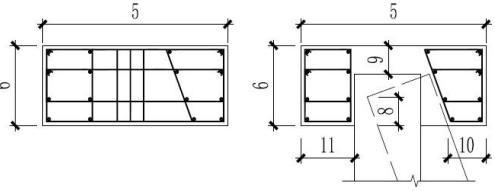
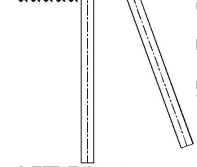
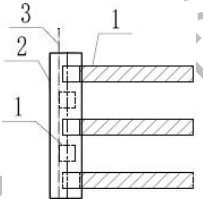
表 B.0.1 倾斜桩及倾斜桩组合结构冠梁配筋构造

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
单排倾斜桩	管桩/灌注桩/钢管桩			
	方桩			

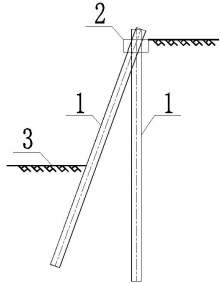
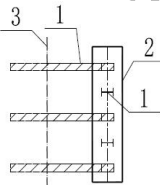
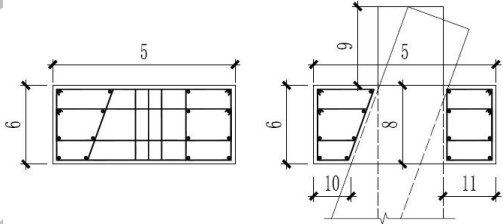
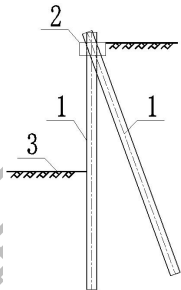
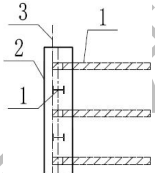
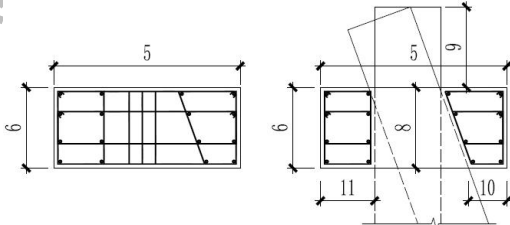
续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
单排倾斜桩	型钢桩			
斜直交替支护结构	管桩/灌注桩/钢管桩 (内斜)			
	方桩 (内斜)			

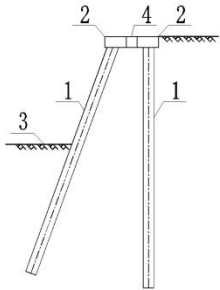
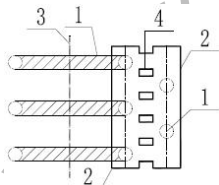
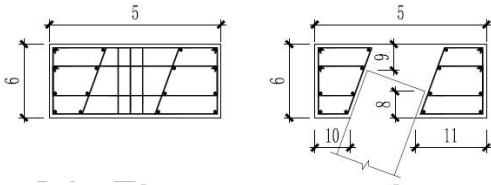
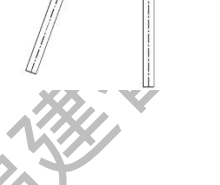
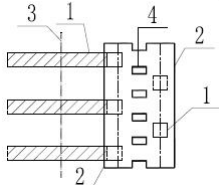
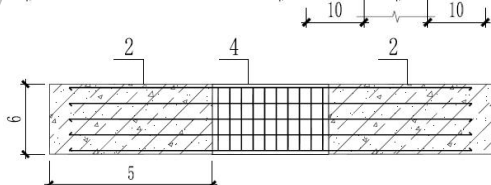
续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
斜直交替支护结构	管桩/灌注桩/钢管桩 (外斜)			
	方桩 (外斜)			

续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
斜直交替支护结构	型钢桩 (内斜)			
	型钢桩 (外斜)			

续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
斜直组合双排桩支护结构	管桩/灌注桩/钢管桩 (内斜)			
	方桩 (内斜)			

续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
斜直组合双排桩支护结构	管桩/灌注桩/钢管桩 (外斜)			
	方桩 (外斜)			

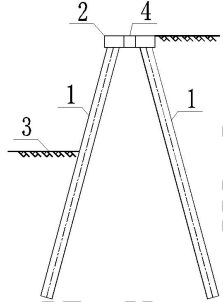
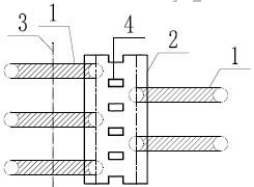
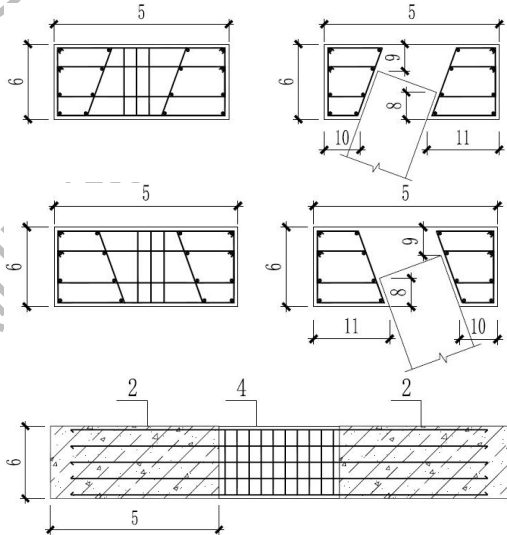

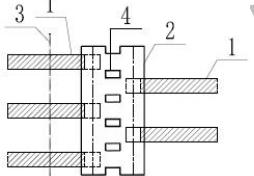
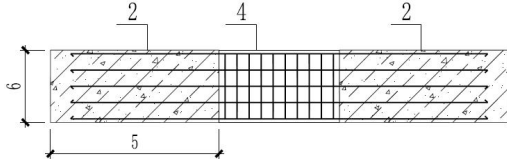
续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
斜直组合双排桩支护结构	型钢桩 (内斜)			
	型钢桩 (外斜)			

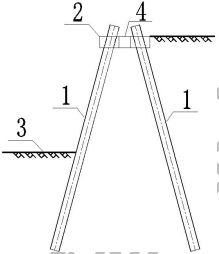
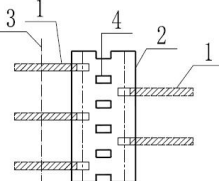
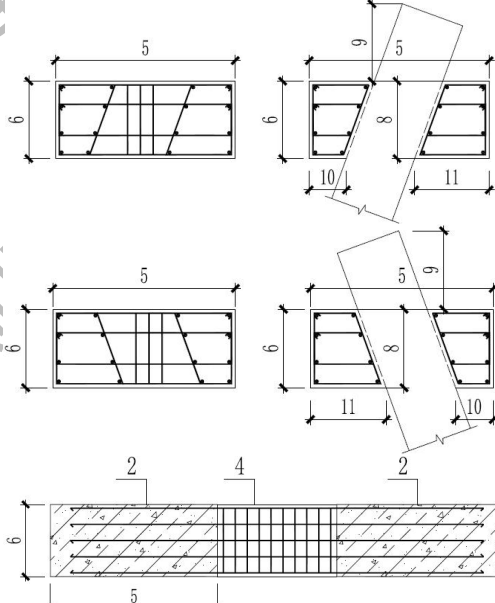
续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
“八字形”组合支护形式	管桩/灌注桩/钢管桩 (紧凑型)			
	方桩 (紧凑型)			
	型钢桩 (紧凑型)			

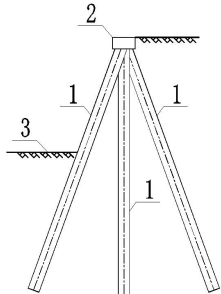
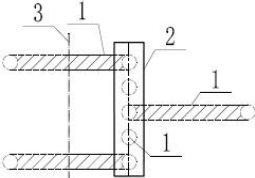
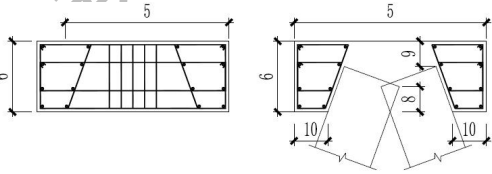

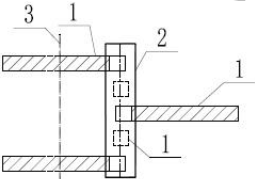
续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
“八字形”组合支护形式	管桩/灌注桩/钢管桩 (分离型)			
	方桩 (分离型)			

续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
“八字形”组合支护形式	型钢桩(分离型)			

续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
“个字形”组合支护形式	管桩/灌注桩/钢管桩			
	方桩			

续表 B.0.1

结构形式	倾斜桩类型	剖面示意	平面示意	冠梁配筋构造
“个 字形” 组合支 护形式	型钢桩			

注：1 图中的标引分别表示：1—支护桩；2—冠梁；3—坡底线；4—连梁；5—冠梁宽；6—冠梁高；7—灌注桩钢筋锚入冠梁长度；8—预制桩嵌入冠梁长度；9—预制桩顶距冠梁顶距离；10—冠梁外扩支护桩最小宽度；11—冠梁外扩支护桩最大宽度；

2 本表中冠梁配筋根据工程需要进行计算以满足设计要求。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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先这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为：“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 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 4 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
- 5 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 6 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 7 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 8 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
- 9 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003
- 10 《工程勘察通用规范》GB 55017
- 11 《建筑工程绿色施工评价标准》GB/T 50640
- 12 《建筑施工安全检查标准》JGJ 59
- 13 《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81
- 14 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 15 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 16 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 17 《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146
- 18 《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406
- 19 《建筑与市政地基基础技术标准》DBJ/T 13-07

福建省工程建设地方标准
基坑倾斜桩支护技术标准

DBJ/T 13-496-2025

条文说明

编制说明

《基坑倾斜桩支护技术标准》DBJ/T 13-496-2025，经福建省住房和城乡建设厅 2025 年 8 月 12 日以闽建科〔2025〕16 号文批准发布，并经住房和城乡建设部备案，备案号为 J 18305-2025。

本标准制订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国基坑倾斜桩支护的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准编制而成。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《基坑倾斜桩支护技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总 则.....	68
3 基本规定.....	70
4 设 计.....	73
4.1 一般规定.....	73
4.2 土压力计算.....	74
4.3 结构分析.....	75
4.4 稳定性验算.....	77
4.5 构 造.....	79
5 施 工.....	81
5.1 一般规定.....	81
5.2 倾斜桩施工.....	81
6 质量检验与监测.....	85
6.1 质量检验.....	85
6.2 监 测.....	85

1 总 则

1.0.1 随着城镇化进程的加速推进,城市基础设施的建设进入快速发展阶段,地下空间开发得到了飞速发展,深基坑工程的规模不断向着“深、大、近、难、险”的趋势发展,其中大面积基坑支护设计及施工技术已经成为地下空间开发的重要技术。

对于大面积基坑,当采用内支撑时,支撑体系的布设不仅影响土方开挖效率,且其施工及拆除将导致工期延长,且采用内支撑的基坑工程造价往往偏高。而对位于城市建(构)筑物密集区的大面积深大基坑工程,采用外拉锚体系需征得周边用地单位同意,限制了锚杆的使用。与此同时,传统直立式悬臂支护结构的整体稳定性、抗倾覆稳定性相比于内支撑支护结构较差,因此所适用的基坑工程范围较为有限,当开挖深度较深或地质条件较差时,往往无法满足支护结构稳定及变形控制要求。

倾斜桩基坑支护技术利用倾斜桩体支撑竖直桩体,将倾斜桩体、竖直桩体及桩间土体连结为整体共同受力,形成一种高自稳、自撑式支护结构,是一种同等条件下极限开挖深度显著大于传统悬臂式支护结构的高自稳性支护结构,且在同等条件下变形显著小于传统悬臂式支护结构,并可与内支撑支护结构变形相当的自撑式支护结构,既可取消基坑内支撑,又能保障基坑安全,实现坑内大空间开挖,兼具安全、高效、经济、环保的优势,相对传统内支撑支护技术来说,是一种绿色低碳的基坑支护新技术。

为确保倾斜桩支护技术在基坑支护工程中得到更为广泛应用,且在设计、施工中做到安全适用、技术先进、绿色环保、经济合理,制定本标准。

1.0.2 本条明确了倾斜桩支护技术的适用范围,该技术已在福建地区得到较为广泛应用。对于不同地层、开挖深度的基坑,采用竖直+倾斜组合单排支护桩、后排竖直+前排倾斜双排支护桩,均取得较好的支护效果,倾斜桩支护结构呈现明显的技术、经济优势。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

3 基本规定

3.0.1 采用倾斜桩支护技术的深基坑工程,除了需考虑地质条件、基坑开挖深度和面积、基坑周边环境等常规基坑支护设计需考虑的因素外,尚应考虑地质条件所需的沉桩工艺、斜桩布置空间等因素的影响,确保倾斜桩能否有效实施;当采用型钢倾斜桩时,尚应考虑回收起拔所需的施工空间。在综合考虑上述因素的前提下,选择合适的倾斜桩支护形式。

3.0.2 基坑支护工程是为地下结构施工而采取的临时性措施,但在深基坑支护设计和施工过程中,应首先确保基坑周边环境的安全,这是支护结构的首要功能。

其次,应具有保证工程自身主体结构施工安全的功能,应为主体地下结构施工提供正常施工的作业空间及环境,提供施工材料、设备堆放和运输的场地、道路条件,隔断基坑内外地下水、地表水以保证地下结构和防水工程的正常施工。

该条规定的目的,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。此外,考虑到倾斜桩通常会侵入到地下结构外轮廓以内,采用倾斜桩进行支护时,应避免在沉桩和起拔时候影响桩基础和地下结构安全。

3.0.5 基坑支护结构的设计工作年限除考虑主体地下结构施工工期的因素外,也是考虑到施工季节(尤其是我省降雨量随季节变化明显)对支护结构的影响。受各种因素的影响,设计预期的施工季节并不一定与实际施工的季节相同,即使对支护结构使用期不足一年的工程,也应使支护结构一年四季都能适用。因此,

本标准规定支护结构使用期限应不小于一年。

同时，对大多数建筑与市政基坑工程而言，一年的支护使用期能满足主体地下结构的施工周期要求，对有特殊施工周期要求工程，应根据实际情况延长支护期限，但一般不超过 2 年。

3.0.6 本标准采用现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 的安全等级划分原则，按支护结构的破坏后果的程度进行划分。

3.0.8 基坑周边环境条件是支护结构设计的重要依据之一，尤其是对位于市区的基坑工程，基坑周围通常存在既有建筑物、各种市政管线、道路等，基坑支护应确保其安全而不受损害。同时，基坑周边既有建（构）筑物荷载可能会增加作用支护结构上的荷载，支护结构的施工也需要考虑周边建筑物地下室、管线、地下构筑物等的影响。

因此，为了避免实际工程中因对基坑周边环境因素缺乏准确了解而造成工程事故，对影响基坑设计与施工安全的主要周边环境因素调查进行了较为详细的规定，主要环境因素包括建（构）筑物、地下管线等，在基坑支护设计前，应先查明基坑周边环境条件，并按获取的周边环境条件进行设计。

3.0.9 本标准对各章土压力、土的各种稳定性验算公式中涉及的水土压力的分、合算方法、抗剪强度指标的试验方法均按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 及福建省地方标准《建筑与市政地基基础技术标准》DBJ/T 13-07-2021 的有关规定执行。

3.0.10 本标准支护结构的重要性系数，遵循国家现行标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的规定，对安全等级为一级、二级、三级的支护结构可分别取 1.1、1.0 及 0.9。当需要提高安全标准时，支护结构的重要性系数可根据具体工程的实际情况取大于上述数值。

当基坑周边通常存在建筑物、管线、地铁车站或区间隧道时，

除了需关注基坑本身的安全以外，尚需重点关注其实施对周边已有建（构）筑物及管线的影响。在这种情况下，基坑设计的稳定性及承载力仅是必要条件，变形往往成为主要的控制条件，从而使得基坑工程的设计从强度控制转向变形控制。支护结构的水平位移控制值和基坑周边环境的沉降控制值应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。

3.0.11 福建地区地下水位普遍偏高，深基坑工程设计施工中的关键问题之一是如何有效地实施对地下水的控制。基坑支护设计时应首先确定合理的地下水控制方法，且地下水控制应符合国家和地方性法规对地下水资源、区域环境的保护要求，符合基坑周边建（构）筑物及管线等的保护要求。

3.0.14 为确保基坑工程的顺利进行，支护结构内力及变形、周边环境的监测是必不可少的环节。在基坑工程施工过程中，除实时对基坑及周边环境进行监控外，尚应及时将监测数据反馈给参建单位，设计应结合工程施工过程中的监测信息进行动态调整，并及时对设计做必要的分析与校验，指导后续的设计与施工，对可能发生的危害进行预防。

4 设 计

4.1 一般规定

4.1.3 在本标准中,倾斜桩支护结构是由倾斜式挡土构件和冠梁组成的支护结构体系的总称,其结构类型包括:单排倾斜桩,斜直交替支护结构,“八字形”组合支护结构,“个字形”组合支护结构、斜直交替双排桩组合支护结构等。为更好地进行倾斜桩支护结构的应用,本条列出了各类倾斜桩支护结构需考虑的选型因素和适用条件。

4.1.5 近年来,数值模拟分析方法在工程中得到了较为广泛的应用,作为岩土工程中先进的计算方法,数值分析方法是岩土工程计算方法的发展方向,但需要可靠的理论依据和试验参数。采用该方法的前提是要有足够的把握和经验。在进行数值模拟计算时,土体本构模型以及相应参数的选择对于数值模拟计算结果的合理性与准确性非常重要。由于基坑工程是一个开挖卸荷问题,小应变硬化模型(HSS)可以更好地考虑土体卸荷模量远大于加载模量的特性,可以同时考虑剪切硬化和压缩硬化,以及剪切模量在微小应变范围内随应变衰减的行为。

因此,对于基坑工程具有较好的适用性,计算结果能给出更为合理的墙体变形及墙后土体变形,推荐在进行数值模拟分析时采用HSS模型,模型参数应根据相关室内模型试验获取。

倾斜桩支护结构选型宜采用数值模拟、简化算法及已有工程实例实测结果对比验证等方法综合验证支护结构设计结果的合理性。

4.1.6 目前,福建地区所采用的倾斜桩支护主要采用预制桩、型

钢桩或钢管桩，当需考虑桩间止土、止泥时，则可将预制桩、型钢桩或钢管桩与三轴搅拌桩或单轴搅拌桩相结合，形成不同桩型的倾斜桩组合支护。当采用斜直交替的组合支护时，直桩可采用SMW工法桩或水泥搅拌桩中内插预制桩的方式进行支护，可兼顾止水、止泥功能需要。当前，国内已有部分地区采用倾斜灌注桩进行支护，可大幅提高倾斜桩支护的深度。

4.1.7 采用倾斜桩支护技术时，应结合降排水及止水帷幕设计进行倾斜桩的布置，包括倾斜桩与止水帷幕平面布置、竖向布置、施工顺序等均应综合考虑，以避免倾斜桩的施工影响止水帷幕的止水效果。

4.2 土压力计算

4.2.1 在进行倾斜桩支护结构变形及受力分析时，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。同时，根据工程实践经验，当存在挤土桩施工、注浆施工、旋喷桩施工时，亦对周边土体产生显著挤土效应，故在支护结构设计时，应对邻近施工影响进行合理考虑。本条列出影响支护结构体系上的荷载或作用的常见因素，其目的是在进行支护结构受力和分析时，可以考虑更为周全。

4.2.2 福建傍山面海，群山纵横，沟壑遍布；盆地型软土、滨海型软土和内陆型软土穿插分布，兼备了软土工程地质和山区工程地质的特点。因此，福建地区地层常起伏较大，各土层的分布和厚度是不均匀的。本条规定的划分土层厚度的原则，其目的是要求做到计算的土压力不小于实际的土压力。为尽量使土压力的计算准确，应按土层分布和厚度的变化情况将土层沿基坑划分为不同的剖面分别计算土压力。

4.2.3、4.2.4 倾斜桩支护结构包含单排倾斜桩、斜直交替支护结构、“八字形”组合支护结构、“个字形”组合支护结构、斜直交替双排桩组合支护结构等不同的布置型式，作用在挡土结构上的土压力也有明显差异。

由于朗肯土压力是建立在半无限土体的假定之上，且朗肯土压力理论只适用于墙背竖直的情况，当倾斜桩组合支护结构的主动区迎土面为倾斜桩或单排倾斜桩时，倾斜桩的土压力计算显然不符合朗肯土压力的基本假定。所以，当朗肯土压力方法不能适用时，应考虑采用库仑土压力理论进行土压力的计算，图解法具体计算步骤可参考中国土木工程学会标准《基坑倾斜桩无支撑支护技术规程》CCES 38-2023 或相关文献。但库仑方法在考虑墙背摩擦角时计算的被动土压力偏大，因此本标准取墙背完全光滑进行计算，这样也与朗肯土压力理论在接触面假设上保持一致。

4.3 结构分析

4.3.1~4.3.3 在本标准中，当倾斜桩组合支护结构的主动区迎土面是竖直桩时，作用于倾斜桩组合支护结构中竖直桩上的主动土压力和被动土压力均按照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中的有关规定计算，即采用朗肯主动土压力理论进行计算。

方案设计所采用的分析方法的对象为支护结构本身，不包括土体，该分析方法将支护结构看作杆系结构，一般按线弹性考虑，将土体对支护结构的作用视作荷载或约束，是目前常用的支护结构分析方法。

然而，倾斜桩组合支护结构的桩-土相互作用复杂，平面杆系结构弹性支点法不能充分考虑空间结构形式和结构与土的相互作用。因此，该方法有其局限性，故仅推荐在方案分析或方案比选评价阶段使用。

在施工图设计时，应采用三维数值模拟进行分析，考虑到土

体本构模型以及相应参数的选择对于数值模拟计算结果的合理性与准确性非常重要，故建议在进行数值模拟分析时，优先采用下应变硬化模型（即 HSS 模型），模型参数应根据相关室内模型试验获取。

对于斜直交替倾斜桩支护结构，可采用简化的单桩计算模型进行结构分析。参考中国土木工程学会标准《基坑倾斜桩支护技术规程》T/CCES 38-2023，可按如下方式进行简化计算：

（1）简化直桩模型中的剪力设计值 Q 和弯矩设计值 M 可按公式（1）、（2）进行估算；

（2）作用在简化直桩嵌固段上土的水平反力可按公式（3）进行估算；

（3）简化直桩嵌固段上土的水平反力系数 k_{nv} 可按公式（4）进行估算。土的水平反力系数的比例系数宜按地区经验取值，缺少地区经验时，可按式（5）进行估算：

$$Q = 10c + 100l - 2l^2 - 40\varphi - 10\cos\theta(c - 4\varphi + 2l) + 640 \quad (1)$$

$$M = l^2 + 4c + 9\varphi - 33l - \cos\theta(3c + 7\varphi - 10l - 270) - 120 \quad (2)$$

$$p_{nv} = k_{nv}v_{nv} + p_{s0} \quad (3)$$

$$k_{nv} = m(z - h) \quad (4)$$

$$m = e^{0.01(\cos\theta - 1)[3\varphi^2 - 80\varphi + 10c]} \times \frac{0.2\varphi^2 - \varphi + c}{v_b} \quad (5)$$

式中： Q —— 作用基本组合的剪力设计值（kN）；

M —— 作用基本组合的弯矩设计值（kN·m）；

l —— 挡土构件长度（m）；

p_{nv} —— 作用在斜直交替结构简化直桩嵌固段上土的水平土力（kPa）；

k_{nv} —— 挡土构件在分布土反力计算点的法向刚度系数（kN/m³）；

p_{s0} —— 分布土反力初始值（kPa），对于斜直交替支护

结构中的竖直桩嵌固端上的基坑内侧初始分布土反力可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 进行估算，且式中 p_{ak} 、 σ_{ak} 、 μ_a 分别用 p_{s0} 、 σ_{pk} 、 μ_p 代替，并不计 $(2c_i\sqrt{K_{a,i}})$ 项；

h —— 计算工况下的基坑开挖深度 (m)；

z —— 计算点距地面的深度 (m)；

l_d —— 倾斜桩支护结构插入深度 (m)；

d —— 预制桩外径或长边长度 (m)，当直斜桩直径不等时，取较大值。

4.3.9、4.3.10 根据倾斜桩支护的计算分析及工程经验，倾斜桩支护结构的桩身内力不仅与常规基坑支护结构类似，围护桩的桩身存在弯矩、剪力外，倾斜桩组合支护结构中邻近基坑内侧的前排桩呈桩身受压状态，而邻近基坑外侧的后排桩则呈桩身受拉状态，故应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 压弯或拉弯构件的计算方法进行计算。

斜直双排支护结构刚架梁两端均有弯矩，应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 判别刚架梁是否属于深弯构件时，按照连续梁考虑。组合式倾斜桩支护结构的冠梁受到弯、剪、扭的共同作用，较为复杂，利用常规的结构分析较难确定其内力，建议采用三维数值模拟计算确定。

4.4 稳定性验算

4.4.1~4.4.6 按照本标准规定的嵌固稳定性和整体稳定性计算要求，计算了砂土条件下不同倾斜角度安全系数的变化曲线图。由图 1 可知，随着倾斜角度的增大，整体稳定性安全系数增加趋势不是很明显，但是嵌固稳定性安全系数增加速率随着倾角的增大而不断变大。当斜桩倾角达到 25° 时，稳定安全模型则发生破

坏模式的转变。

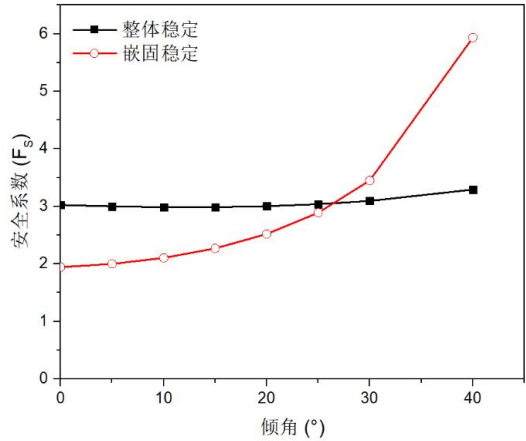


图 1 倾斜桩整体稳定性和嵌固稳定性安全系数

整体滑动稳定性验算公式 (4.3.3-2) 以瑞典条分法边坡稳定性计算公式为基础，滑弧稳定性验算应采用搜索的方法寻找最危险滑弧，最危险滑弧的搜索范围限于通过倾斜桩底端和在倾斜桩下方的各个滑弧。因支护结构的平衡性和结构强度已通过结构分析解决，在截面抗剪强度满足剪应力作用下的抗剪要求后，倾斜桩不会被剪断。当挡土构件底端以下存在软弱下卧土层时，整体稳定性验算滑动面尚应包括由圆弧与软弱土层面组成的复合滑动面。

按照本标准规定的斜直交替支护结构嵌固稳定性和整体稳定性计算要求，计算了砂土条件下不同倾斜角度安全系数的变化曲线图 (图 2)。与倾斜桩相似，随着倾角的增大，整体稳定性安全系数变化不明显，抗倾覆稳定性安全系数快速增大，在倾角 20° 时，发生破坏模式的转变，相较于倾斜桩而言，其破坏模式转变所需的角度更小。

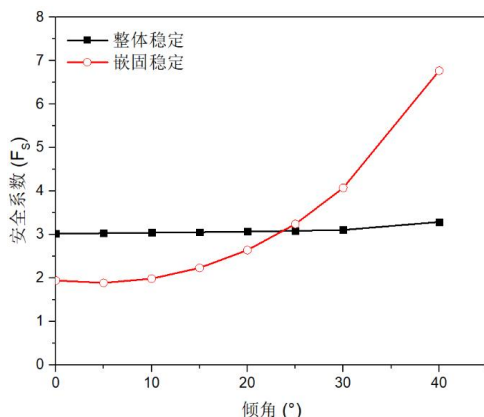


图2 斜直交替支护结构整体稳定性和嵌固稳定性安全系数

4.4.7 倾斜桩支护工程的地下水渗透稳定性的验算方法和规定与常规基坑工程类似，故遵循现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 规定。

4.5 构造

4.5.2 通过现场试验、模型试验和数值模拟计算发现倾斜桩的倾斜角度和布桩方式对支护桩的支护效果有很大的影响，倾斜角度过小，倾斜桩的支护效果较小，倾斜角度过大，支护结构将占用较大空间，通常倾斜桩倾斜角度可取为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

4.5.4 内斜桩因承受轴向压力，进入设计开挖面以下的深度应满足轴向承载力要求，具体应结合基坑开挖面以下土层进行确认。

4.5.8 前后排桩桩顶间距是斜直双排支护桩设计的重要参数。排距过大则刚架效果减弱，排距合理范围为 $2d \sim 6d$ 。本标准的斜直双排支护桩结构桩顶与刚架梁的连接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。

4.5.9 当倾斜桩侵入地下结构时，应在型钢桩或钢管桩与基础底

板或地下室外墙交叉部位处焊接环形止水钢板，止水钢板宽度不应小于 100mm，焊接质量应符合国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661 二级焊缝标准。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

5 施 工

5.1 一般规定

5.1.1 基坑工程施工前，应编制基坑工程专项施工方案，其内容应包括：工程概况、编制依据、施工计划、施工工艺技术、施工保证措施、施工管理及作业人员配备和分工、验收要求、应急处置措施、相关施工图纸，故本条列出了需重点包含的内容。

5.2 倾斜桩施工

5.2.4 桩位线指的是倾斜桩设计位置在作业面（地表）的投影中心线。入土线指的是倾斜桩入土位置中心线，即倾斜桩桩身中心线延长与作业面（地表）的交点。对位线指的是倾斜桩设备完成对位时，夹持机具中心位置在作业面（地表）的投影中心线。桩位具体位置如图 3 所示。

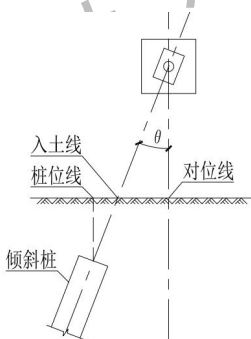


图 3 斜桩机施工定位线示意图

5.2.6 倾斜桩支护技术的静压法施工工艺如图 4 所示。

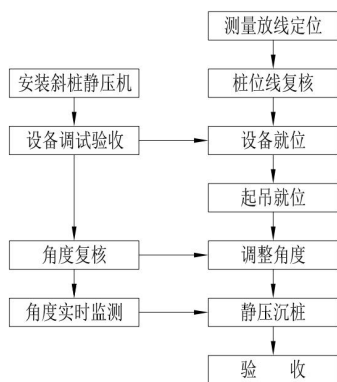


图4 静压法施工工艺流程图

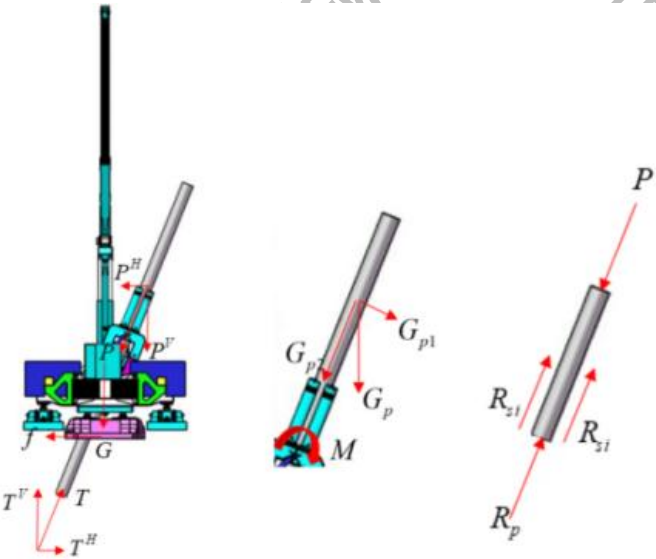
截水帷幕与支护桩分开设置时，先施工预制支护桩再施工截水帷幕，防止支护桩施工时由于挤土作用造成截水帷幕破坏。静力压桩设备的选择应参照现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的有关规定。

传统静压桩机主要适用于竖直预制桩，很难适用于倾斜预制桩静压施工。为实现大角度倾斜桩的静压施工，天津大学联合天津建城基业集团、广东力源液压机械有限公司研发了世界上首台竖直、大角度直、斜桩两用静力压桩机。该设备采用边压法，最大压桩可达 3000kN，可完成 $-15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 范围内的预制方桩、预制桩、管桩、钢板桩等多种桩型的倾斜施工，突破了城市内预制桩静压施工倾角的限制，在竖直桩静压施工时较传统静力压桩机而言所需工作面也更小，但是该设备也存在不足之处，因其为边桩器加压模式，沉桩在设备的一侧，过大的压桩力会导致边桩斜静力压桩机失稳，存在桩沉入困难及浮机错位造成的基桩破坏。

为扩大倾斜静力压桩机的适用范围及施工安全性，国内首台套大吨位、大倾角预制倾斜静力压桩机也研发落地，该压桩机采用中压法，可满足 $-20^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 范围内“人字形”桩、“个字形”桩

的施工，直桩、倾斜桩最大压桩力也均大于边桩器斜桩静力压桩机，见图 5。除上述改良外，设备配备角度自动监控系统以实时监测沉桩过程中桩的施工角度。

常规静压法施工已有相关规范和经验，针对夹持机构，当前静压桩施工技术标准中特别提到，对于不同截面的桩应当使用对应的夹持机构，否则容易夹伤混凝土桩身，影响预应力桩的力学性能，为解决该问题，该压桩机配备了可调节夹桩器，可满足多种预制桩或型钢构件的施工需求，两种斜桩静力压桩机相结合可实现 90% 以上的倾斜预制桩和型钢的施工。开发的系列倾斜静力压桩机能够保证进行连续压桩时各预制桩之间的间隙以及斜度误差在规定的范围内，有效推动了支护体系的推广和应用。



(a) 压桩机受力 (b) 悬臂桩受力 (c) 入土桩受力

图 5 静压机在施工倾斜桩受力示意图

5.2.8 鉴于倾斜桩除受轴向力外，还承受较大的弯矩，故预制倾斜桩的接头应采用接头连接，且接头位置应避开受力较大的区域。

5.2.10 倾斜灌注桩采用旋挖机结合全套管全回转钻机进行成桩

作业时，为保证倾斜灌注桩倾角，宜提前设置混凝土斜向导向垫层，确保成孔倾角满足设计要求。同时，采用全套管全回转钻机护壁、旋挖钻机取土的组合工艺时，全套管应跟进旋挖取土，并结合地质条件等因素选取合适的套管、钻杆及取土工艺。

6 质量检验与监测

6.1 质量检验

6.1.2 基坑倾斜桩支护结构应按国家现行标准《建筑地基工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定进行施工及质量检验，且在基坑开挖过程中，应对基坑开挖面的支护桩表观质量、支护结构的变形、渗漏水情况等项目进行检查。

6.1.3 鉴于基坑倾斜桩支护结构中倾斜桩承受轴向拉力或压力，为保证倾斜桩发挥有效作用，且考虑到倾斜桩不便于进行承载力检测，可取用同等条件下竖直桩竖向承载力检验结果作为倾斜桩轴向承载力的检测结果。当倾斜桩倾角 $>15^{\circ}$ ，且因倾斜导致地层差异明显时，应通过现场载荷试验验证轴向承载力。

6.1.4~6.1.6 倾斜桩支护工程的成败与否与倾斜桩的角度密切相关，故本标准除常规检测要求外，对倾斜桩的倾斜角度进行了明确规定。

6.2 监测

6.2.1 在基坑工程实施前应编制监测方案，监测方案通常应包括工程概况、监测项目、测点布置、监测方法、监测元件和仪器、监测频率和预警值、监测数据整理方法及监测成果形式等。

6.2.2 鉴于倾斜桩支护工程通常采用静压法或振动沉桩，易对周边环境产生一定影响，故建议监测工作自支护结构施工阶段开始，并贯穿整个基坑施工全过程。

6.2.4 监测点的位置应尽可能地反映监测对象的实际受力、变形状态，以保证对监测对象的状况做出准确的判断。在监测对象内

力和变形变化大的代表性部位及周边环境重点监测部位，监测点应适当加密，以便更加准确地反映监测对象的受力和变形特征。

倾斜桩支护结构内力监测点宜布置在受力、变形较大且有代表性的部位，且宜同时布置在竖直桩和倾斜桩，监测点数量和水平间距应根据设计要求和工程实际情况确定。

6.2.5、6.2.6 自动化监测系统在监测过程中完全不需要或仅需要很少的人工干预而自动进行并完成监测工作。自动化监测系统可由传感器、自动采集单元、计算机、数据传输及信息管理软件等组成，可实现数据自动采集、传输、处理、浏览、报警等功能。实施自动化监测的项目，宜配备独立于自动监测仪器的人工测量设备，确保自动仪器设备发生故障时能获取测值，并定期采用人工测量设备对自动化系统进行校核，发现异常情况应分析原因，并及时修复。

监测频率的确定是监测工作的重要内容，与施工方法、施工进度、工程所处的地质条件、周边环境条件，以及监测对象和监测项目的自身特点等密切相关。同时，监测频率与投入的监测工作量和监测费用有关，在制定监测频率时既要考虑不能错过监测对象的重要变化时刻，也应当合理布置工作量，控制监测费用，选择科学、合理的监测频率有利于监测工作的有效开展。

6.2.7 基坑工程监测预警不但要控制监测项目的累计变化量，还要注意控制其变化速率。基坑工程工作状态一般分为正常、异常和危险三种情况。异常是指监测对象受力或变形呈现出不符合一般规律的状态。危险是指监测对象受力或变形呈现出低于结构安全储备、可能发生破坏的状态。累计变化量反映的是监测对象即时状态与危险状态的关系，而变化速率反映的是监测对象发展变化的快慢。过大的变化速率往往是突发事件的先兆。例如，对围护墙变形的监测数据进行分析时，应把位移大小和位移速率结合起来分析，考察其发展趋势，如果累计变化量不大，但发展很快，说明情况异常，基坑的安全正受到严重威胁。

因此，在确定监测预警值时应同时给出变化速率和累计变化量，当监测数据超过其中之一时，监测人员应及时预警。有关各方应及时分析原因，判断监测对象的工作状态，并采取相应措施。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用