

山东省工程建设标准



DB37/T 5202-2021

Jxxxxx-2021

建筑与市政工程基坑支护绿色技术标准

Technical standard for green support of building and municipal
foundation excavation engineering

2021-12-08 发布

2022-03-01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

前言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局关于印发 2020 年第二批山东省工程建设标准制订、修订计划的通知（鲁建标字〔2020〕18 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国家标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共有 11 章及 10 个附录，内容包括总则、术语和符号、基本规定、倾斜桩支护、可回收芯材-水泥土墙、可回收锚杆支护、可回收组合内支撑、钢支撑轴力自动补偿系统、地下水抽灌一体化技术及基坑工程自动化监测。

本标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，济南大学负责具体技术内容的解释。为了提高本标准的质量，请各单位在执行过程中，注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给济南大学《建筑与市政工程基坑支护绿色技术标准》管理组（地址：山东省济南市南辛庄西路 336 号，邮编 250022，邮箱 liuyan322@163.com,15806605556），以供今后修订时参考。

主编单位：山东正元建设工程有限责任公司

济南大学

参编单位：中国海洋大学

上海善于建筑科技有限公司

天津建城基业集团有限公司

上海宏信建设发展有限公司

济南轨道交通集团有限公司

上海长凯岩土工程有限公司

东通岩土科技股份有限公司

济南鼎汇土木工程技术有限公司

主要起草人：郑全明 刘俊岩 刘 燕 何东林 孟 毅 冯小冬 刘永超 单永华
张菊连 刘 涛 瞿成松 路林海 曲 萍 王 杨 杨 洁 胡 琦
于文铭 张利生 谢 群 张西文 杨 帆 张加冕 李景涛 刘国辉
杨立华

审 查 人：孙剑平 丁尚辉 李连祥 付宪章 盛根来 樊祜传 孙 杰 罗永现
李克金

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基 本 规 定	5
4	倾斜桩支护	8
4.1	一般规定	8
4.2	设计	10
4.3	构造要求	21
4.4	施工与检验	24
5	可回收组合钢桩支护	27
5.1	一般规定	27
5.2	设计	27
5.3	构造要求	32
5.4	施工与检验	33
6	可回收芯材-水泥土墙支护	39
6.1	一般规定	39
6.2	设计	39
6.3	构造要求	40
6.4	施工与检验	41
7	可回收锚索支护	43
7.1	一般规定	43
7.2	设计	43
7.3	构造要求	50
7.4	施工与检验	52
8	可回收组合内支撑	55
8.1	一般规定	55
8.2	设计	55
8.3	构造要求	63
8.4	施工与检验	66
9	钢支撑轴力自动补偿系统	71
9.1	一般规定	71
9.2	设计	72
9.3	施工与检验	73
10	基坑地下水抽灌一体化绿色技术	77
10.1	一般规定	77
10.2	勘察与设计	77
10.3	施工及检验	83
11	基坑工程自动化监测	85
11.1	一般规定	85
11.2	监测点布设	86
11.3	传感器与数据采集和传输	87
11.4	自动化监测方法及要求	88
11.5	监测数据处理及信息反馈	91

附录 A 坑内回填土水平反力计算.....	92
附录 B 常用的型钢支撑梁技术参数.....	93
附录 C 常用的盖板和系杆技术参数.....	97
附录 D 常用的三角传力件及预应力装置技术参数.....	99
附录 E 型钢组合支撑安装的分项工程检验批验收表.....	100
附录 F 钢支撑轴力自动补偿系统进场检查记录表.....	101
附录 G 钢支撑轴力自动补偿系统安装调试质量验收表.....	102
附录 H 钢支撑轴力自动补偿系统运行过程巡检记录表.....	103
附录 I 轴力自动补偿系统钢支撑轴力动态调整申请表.....	104
附录 J 钢支撑轴力自动补偿系统钢套箱详图.....	105
附录 K 建筑与市政基坑工程远程监控系统检查测试记录.....	106
本标准用词说明.....	107
条文说明.....	109

1 总 则

1.0.1 为推进我省基坑支护绿色技术的应用，规范基坑工程设计、施工、监测，做到安全适用、技术先进、经济合理、节能减排、保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于山东省内建筑及市政工程中采用绿色技术的基坑支护、地下水抽灌一体化的设计、施工及基坑工程自动化监测。

1.0.3 基坑工程应根据场地工程地质与水文地质条件、周边环境条件、开挖深度及施工条件，优先采用基坑支护绿色技术，做到合理选型、精心设计、精心施工、严格监控。

1.0.4 建筑及市政基坑工程设计、施工、检测及监测等除应执行本标准外，尚应符合国家、行业及山东省现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 基坑支护绿色技术 green support of building excavation

在保证基坑工程质量、安全等基本要求的前提下，采取的符合国家节能减排、降低污染、可持续发展产业政策的基坑支护、地下水控制与环境保护技术。

2.0.2 倾斜桩 inclined pile

桩体轴线与竖直方向呈不大于 30° 设置的支护桩，桩体通常采用预制桩或钢桩。

2.0.3 倾斜桩组合支护结构 composite inclined retaining structure

由竖直支护桩与倾斜桩组合或由不同倾斜方向、倾斜角度倾斜桩组合形成的无支撑支护结构。包括斜直交替支护结构、斜直组合双排桩支护结构、“八字形”支护结构、“个字形”组合支护结构，以及倾斜桩组合支护结构与其它支护形式形成的多级支护结构。

2.0.4 斜直交替支护结构 inclined-vertical retaining structure

竖直桩与倾斜桩交替布置且桩顶在同一轴线，并用冠梁连接的组合支护桩结构，包括内斜桩与竖直桩组合支护结构、外斜桩和竖直桩组合支护结构。

2.0.5 斜直组合双排桩支护结构 inclined-vertical double-rows retaining structure

由一排竖直桩和一排倾斜桩组成的、桩顶不在同一轴线，且由连梁连接的双排桩支护结构。

2.0.6 “八字形”组合支护结构 retaining structure of shape “八”

由向基坑内倾斜的一排倾斜桩和向基坑外倾斜的一排倾斜桩组合形成的支护结构，两排倾斜桩的桩顶可在同一轴线，也可有一定距离而不在同一轴线。

2.0.7 “个字形”组合支护结构 shape retaining structure of shape “个”

沿基坑侧壁由向基坑内倾斜、竖直和向基坑外倾斜交替布置的支护桩，且桩顶均在同一轴线的组合支护结构。

2.0.8 可回收组合钢桩支护 recoverable composite steel piling

由 U 型钢钢板桩、H 型钢、钢管桩等通过焊接、焊接槽口连接、高强度螺栓连接等方式连接形成的可回收复合挡土截水支护结构。

2.0.9 可回收芯材-水泥土墙支护 recoverable steel-soil mixed wall support

在连续套接的多轴水泥土搅拌桩内或等厚度水泥土墙插入可以回收的型钢、钢管、组合钢箱等劲性构件形成的复合挡土截水结构。

2.0.10 可回收锚杆 removable anchor

使用功能完成后，可以拆除回收其筋体的锚杆，也称可拆芯式锚杆。

2.0.11 承载体 load bearing body

位于压力型锚杆的杆体底端，将筋体所受拉力转换为作用在锚固体上压力的部件

2.0.12 解锁装置 deblocking device

位于可回收锚杆杆体底端、可解锁与锚筋脱离的部件。

2.0.13 解锁 deblocking

解锁装置与锚筋解除物理力学关联的行为，简称解锁。

2.0.14 机械锁型可回收锚杆 end-locked type removable anchor

锚杆使用功能完成后，采用机械方式进行解锁实现筋体拆除与回收的锚杆。

2.0.15 热熔型可回收锚杆 hot-melt removable anchor

锚杆使用功能完成后，采用通电热熔方式解锁实现筋体拆除与回收的锚杆。

2.0.16 锚筋回转型可回收锚杆 U-type removable anchor

锚杆使用功能完成后，采用筋体回转方式实现筋体拆除与回收的锚杆。

2.0.17 装配式型钢组合支撑 assembly steel struts system

由型钢支撑梁、组合围檩、立柱和连接件等装配构成的支撑系统（以下简称型钢组合支撑）。

2.0.18 钢支撑轴力自动补偿系统 automatic compensation system for steel support axial force

采用现代机电液一体化自动控制技术、计算机信息处理技术及可视化监控系统等手段对钢支撑轴力全天候不间断监测、并能对支撑轴力进行适时自动补偿的控制系统。

2.0.19 自动补偿上限值 Automatic compensation upper limit value

自动补偿系统开始卸压的阈值，当实际轴力超过该值时，系统自动运行将轴力卸压至设计预加轴力值。

2.0.20 自动补偿下限值 automatic compensation lower limit value

自动补偿系统开始增压的阈值，当实际轴力低于该值时，系统自动运行将轴力增压至设计预加轴力值。

2.0.21 地下水抽灌一体化 integrated design for pumping and recharge

综合考虑人工降水、回灌过程中的地下水协调、均衡问题，统筹降水井、回灌井、监测点的平面布置以及配套管路系统的设计施工方法。

2.0.22 地下水控制预分析 pre-analysis for ground water control

基坑降水设计之前,基于基坑围护初步设计资料、工程地质与水位地质条件、临近建(构)筑物资料及周边环境复杂程度,分析工程降水对周边环境的影响,提出工程水文地质勘察的技术要求和地下水控制方法。

2.0.23 围护与降水一体化设计 integrated design for retaining structure and pumping

基坑围护墙兼做截水帷幕时,在满足围护结构设计要求的基本插入深度后,再按照降水设计要求对围护结构插入深度、空间布局以及降水井结构进行的统筹设计、优化。

2.0.24 基坑自动化监测系统 automated monitoring system of building excavation

整合计算机技术、通信技术及传感器技术等构建的监测系统,实现基坑监测数据的自动化采集、传输、处理和预警。

3 基本规定

3.0.1 基坑支护安全等级的划分及使用年限应执行《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 及相关标准的要求。构件的设计使用年限不应小于基坑设计使用年限。

3.0.2 基坑支护设计应具备下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 用地红线范围，周边地形图，建筑总平面图、地下部分建筑结构设计图纸；
- 3 周边相关建（构）筑物、地下设施、管线的调查资料及工作性状、现场可回收条件；
- 4 相邻地下工程施工情况；
- 5 周转使用的可回收构件的实际物理性能及力学指标。

3.0.3 支护选型时，除考虑基坑开挖深度、基坑形状与规模、地质条件、基坑周边环境要求及支护结构使用期等因素外，尚应考虑下列因素：

- 1 周边环境对基坑变形的承受能力及支护结构失效的后果；
- 2 可回收的工艺和空间条件；
- 3 节能减排和周转构件的损耗和供应条件；
- 4 支护施工工艺的可行性；
- 5 施工场地条件及施工季节；
- 6 经济指标、环保性能和施工工期。

3.0.4 采用绿色技术的基坑支护设计除按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 进行承载力极限状态和正常使用极限状态计算外，尚应进行下列内容的计算分析：

- 1 回收期截面承载能力验算；
- 2 沉桩阻力计算；
- 3 回收拔除阻力计算；
- 4 连接验算；
- 5 基坑截水、降水与回灌一体化设计；
- 6 基坑自动化监测系统的设计；
- 7 环境影响分析与保护。

3.0.5 基坑支护绿色技术应满足下列功能要求：

- 1 保证基坑及周边建（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 保证装配和回收的作业空间。

3.0.6 采用绿色技术的基坑支护设计除应考虑水土压力、周边荷载外，尚应考虑下列荷载作用与影响：

- 1 相邻工程打桩、降水等的施工影响；
- 2 温度变化对支护结构的作用；
- 3 临水基坑的波浪、潮汐荷载等作用；
- 4 易引发构件腐蚀的特殊环境，尚应考虑构件的受腐蚀影响；
- 5 其他不利于基坑稳定的荷载作用与影响。

3.0.7 采用绿色技术的、设计使用年限超过一年的基坑工程，当场地水土对结构构件产生影响其正常工作性能的腐蚀时，应对易腐蚀构件采取相应的防腐措施。

3.0.8 预制构件宜采用标准件，必要时可在局部位置采用非标准件，非标准件的设置应符合下列规定：

- 1 非标准件的材料性能不应低于标准件的材料性能；
- 2 非标准件的制作加工精度和验收标准不应低于标准件；
- 3 非标准件与标准件的连接应满足受力和构造要求。

3.0.9 周转使用的结构构件或连接进行承载能力验算时，应符合下式要求：

$$\gamma_0 S \leq \frac{R}{\gamma_R} \quad (3.0.9)$$

式中：

- γ_0 —— 支护结构重要性系数。应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定取值；
- R —— 结构构件的抗力设计值；
- γ_R —— 承载力设计值调整系数，应根据构件或连接重复使用情况及构件腐蚀程度取用，不应小于 1.0，或经过质量检验后，根据检验结果取值；
- S —— 作用基本组合的效应设计值（轴力、弯矩、剪力等），按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定取值。

3.0.10 施工前应掌握施工区域的工程地质资料，查明周边环境、不良地质作用及地下障碍物，编制专项施工方案，并明确回收方案，包括回收方法、回收顺序等。

3.0.11 质量验收标准除应符合本标准有关规定外，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 的有关规定。

3.0.12 基坑工程施工及使用期间，应对支护结构和邻近建（构）筑物、地下管线等进行监测。支护构件回收期间，应加密监测，监测要求应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 的有关规定。

4 倾斜桩支护

4.1 一般规定

4.1.1 倾斜桩支护结构形式应根据地质条件、场地条件、周边环境条件、基坑深度等按表

4.1.1 选型。

4.1.2 倾斜桩的桩体轴线应与竖直方向呈一定角度设置，倾斜支护桩的倾斜角度 θ （图

4.1.1）不宜大于 30° 。

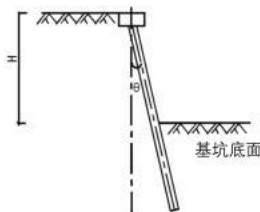


图 4.1.1 倾斜桩支护结构

4.1.3 倾斜桩施工过程中，如发现地质条件、场地条件及周边环境条件与勘察、设计不符时，应及时会同勘察、设计单位处理。

4.1.4 倾斜桩桩体入土深度应根据基坑支护结构稳定与变形计算要求确定。

4.1.5 施工单位应针对倾斜桩支护结构的施工风险制定施工应急预案。

4.1.6 基坑倾斜桩支护除应符合本标准规定外，尚应符合国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定。

表 4.1.1 倾斜桩支护的适用条件

结构类型		立面图	俯视图	支护结构适用条件
单排倾斜桩	单排倾斜桩			适用于较浅的基坑。
	斜直交替组合支护结构			适用于开挖深度较深, 桩顶位移限制较严格的基坑
	斜直组合双排桩支护结构			适用于开挖深度较深, 桩顶位移限制较严格, 工作面较宽的基坑。
	“八字形”或“个字形”组合支护结构			适用于开挖深度较深, 桩顶位移限制较严格、可以向坑外打桩的基坑。
	“个字形”组合支护结构			

注: 1 俯视图中的数字分别表示: 1—开挖面, 2—冠梁, 3—内倾斜支护桩, 4—整直桩, 5—连梁, 6—外倾斜支护桩;

2 倾斜桩支护及其组合结构适用于安全等级为一、二、三级, 二、三级的基坑;

3 当基坑不同部位的周边环境条件、土质性状、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;

4 当基坑较深需采用分段或多级支护时, 支护结构可采用上、下部以不同结构类型组合形式;

4.2 设计

4.2.1 当基坑倾斜桩支护的主动区迎土面是竖直桩时，作用于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 4.2.1）：

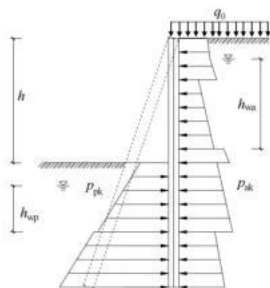


图 4.2.1 倾斜桩结构中的竖直桩土压力

1 对地下水位以上的土层

$$p_{ak} = \sigma_{ak} K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} \quad (4.2.1-1)$$

$$K_{a,i} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right) \quad (4.2.1-2)$$

$$p_{pk} = \sigma_{pk} K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} \quad (4.2.1-3)$$

$$K_{p,i} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi_i}{2} \right) \quad (4.2.1-4)$$

式中：

p_{ak} —— 支护桩主动侧，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 $p_{ak} = 0$ ；

σ_{ak} —— 支护桩主动侧计算点的土中竖向应力标准值（kPa），按本标准第 4.2.5 条的规定计算；

σ_{pk} —— 支护桩被动侧计算点的土中竖向应力标准值（kPa），按本标准第 4.2.5 条的规定计算；

$K_{a,i}$ —— 第 i 层土的主动土压力系数；

$K_{p,i}$ —— 第 i 层土的被动土压力系数；

q_0 —— 地面荷载（kPa）；

c_i —— 第 i 层土的黏聚力（kPa）；

取值；

φ_i —— 第 i 层土的内摩擦角 ($^\circ$)；

p_{pk} —— 支护桩被动侧第 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

$$p_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a) K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (4.2.1-5)$$

$$p_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p) K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} + u_p \quad (4.2.1-6)$$

式中：

u_a —— 支护结构主动侧计算点的水压力 (kPa)；对静止地下水，按本标准第 4.2.4 条的规定取值。

u_p —— 支护结构被动侧计算点的水压力 (kPa)；对静止地下水，按本标准第 4.2.4 条的规定取值。

4.2.2 当基坑倾斜桩支护结构的主动区迎土面是倾斜桩时，宜按库伦土压力理论进行计算。

1 无黏性土

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 4.2.2)：

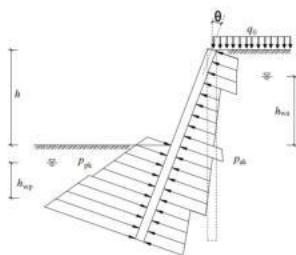


图 4.2.2 倾斜桩的土压力计算

1) 对地下水位以上的土层

$$p_{ak} = \gamma H K_{a,i} \quad (4.2.2-1)$$

$$K_{a,i} = \frac{\cos^2(\varphi_i + \theta)}{\cos^3 \theta \left[1 + \frac{\sin \varphi_i}{\cos \theta} \right]^2} \quad (4.2.2-2)$$

$$p_{pk} = \gamma H K_{p,i} \quad (4.2.2-3)$$

$$K_{p,i} = \frac{\cos^2(\varphi_i + \theta)}{\cos^3 \theta \left[1 - \frac{\sin \varphi_i}{\cos \theta} \right]^2} \quad (4.2.2-4)$$

式中:

γ —— 计算深度内土的天然重度, 多层土取各层土的厚度加权平均值。(kN/m³);

H —— 计算深度, 主动区自地表起算, 被动区自开挖面起算;

θ —— 倾斜桩与竖直方向的夹角。对于内斜桩, θ 取正值, 对于外斜桩, θ 取负值。

其余各符号的定义与 4.2.1 条中相同。

2) 对于水土分算的土层

$$p_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a)K_{a,i} + u_a \quad (4.2.2-5)$$

$$p_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p)K_{p,i} + u_p \quad (4.2.2-6)$$

2 黏性土

支护桩外侧的主动土压力、内侧的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下列公式计算:

$$K_{a,i} = \frac{1}{\cos \theta \cos^2(\theta + \varphi)} \{ \cos^2 \theta + \sin^2 \varphi + 2\eta \cos \theta \cos \varphi [\sin(\theta + \varphi) - 1] - 2c \} \quad (4.2.2-7)$$

$$\eta = \frac{2c}{\gamma H} \quad (4.2.2-8)$$

式中:

η —— 中间转化系数;

θ —— 倾斜桩与竖直方向的夹角; 其余各符号的定义与 4.2.1 节中相同。

4.2.3 作用在倾斜桩支护结构上的土压力除满足现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 外, 尚应符合下列规定:

1 在土压力影响范围内, 存在相邻建筑物地下墙体等稳定界面时, 可采用库仑土压力理论计算界面内有限滑动楔形体产生的主动土压力。同一土层的土压力可采用沿深度线性分布形式, 支护结构与土之间的摩擦角宜取零;

2 需要严格限制支护结构的水平位移时, 支护结构外侧的土压力宜取静止土压力。

4.2.4 静止地下水的水压力可按下列公式计算:

$$u_a = \gamma_w h_{wa} \quad (4.2.4-1)$$

$$u_p = \gamma_w h_{wp} \quad (4.2.4-2)$$

式中:

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

h_{wa} —— 基坑主动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} —— 基坑被动侧地下水位至被动土压力强度计算点的垂直距离 (m)。

4.2.5 土中竖向应力标准值应按下式计算:

$$\sigma_{sk} = \sigma_{ac} + \sum \Delta\sigma_{k,j} \quad (4.2.5-1)$$

$$\sigma_{pk} = \sigma_{pc} \quad (4.2.5-2)$$

式中:

σ_{ac} —— 支护结构主动侧计算点, 由土的自重产生的竖向总应力 (kPa);

σ_{pc} —— 支护结构被动侧计算点, 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), 根据附加荷载类型, 宜按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定计算。

4.2.6 倾斜桩支护结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析。主动土压力计算宽度宜取桩间距, 土反力计算宽度宜按行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 有关规定进行计算。

4.2.7 单排倾斜桩支护结构采用平面杆系结构弹性支点法计算模型时 (图 4.2.7), 应符合下列规定:

1 倾斜桩的主动土压力标准值 p_{ak} 可按本标准第 4.2.1 条~第 4.2.5 条的有关规定确定;

2 倾斜桩嵌固段上的土反力 p_{ni} 可按本标准第 4.2.8 条的有关规定确定。

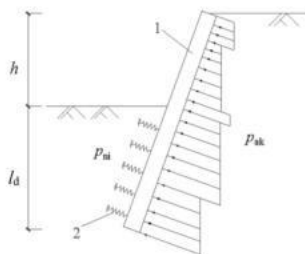


图 4.2.7 单排倾斜桩支护结构弹性支点法计算模型

1-倾斜桩；2-计算土反力的弹性支座

l_d — 基坑倾斜支护桩支护结构底至基坑底的距离 (m)。

2-

4.2.8 初步设计时，作用在倾斜桩嵌固段上的法向分布土反力可按下列公式 (4.2.8-1) 计算；土的法向刚度系数可按 (4.2.8-2) 所列公式计算。土的反力系数的比例系数宜按地区经验取值，缺少经验时，可按 (4.2.8-3) 计算：

$$p_{ni} = k_{ni} v_{ni} + p_{s0} \quad (4.2.8-1)$$

$$k_{ni} = m(z - h) \quad (4.2.8-2)$$

$$m = e^{0.001(\cos \theta - 1)[\varphi^2 + 70\varphi + 30c]} \times \frac{0.2\varphi^2 - \varphi + c}{v_b} \quad (4.2.8-3)$$

式中：

p_{ni} — 倾斜桩嵌固段上的法向分布土反力；

k_{ni} — 土的法向刚度系数 (kN/m^2)；

v_{ni} — 土反力计算点处的倾斜桩的法向位移值 (m)；

θ — 倾斜桩与竖直方向的夹角 ($^\circ$)；

p_{s0} — 初始分布土反力 (kPa)，对于倾斜桩嵌固段上的基坑内侧初始分布土反力，可按本标准公式 (4.2.2-1) 或 (4.2.2-5) 计算，但应将公式式中 p_{ak} 用 p_{s0} 、

σ_{ak} 用 σ_{pk} 、 μ_a 用 μ_p 代替；

m — 土的水平反力系数的比例系数 (MN/m^4)；

z — 计算点距地面的距离 (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 $v_b=10\text{mm}$ 。

h —— 基坑的开挖深度(m)；

c —— 土的黏聚力(kPa)；

φ —— 内摩擦角($^\circ$)。

4.2.9 初步设计时，对于斜直交替支护结构（图 4.2.9（a）），可采用简化单桩计算模型进行结构分析，如图 4.2.9（b）所示：

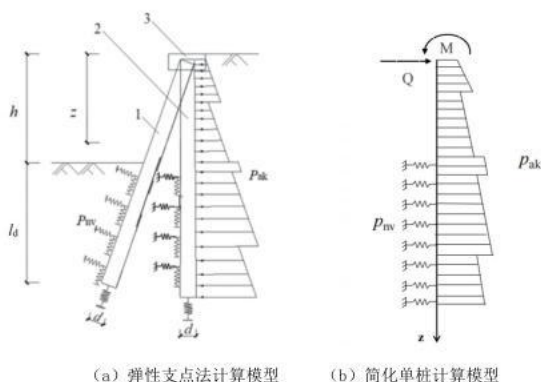


图 4.2.9 倾斜桩组合支护结构（斜直）弹性支点法计算模型

1-斜桩；2-直桩；3-冠梁

简化单桩计算模型的变形和内力确定方法如下：

1) 简化直桩模型中的集中剪力 Q 和集中弯矩 M ，可按公式（4.2.9-1）和（4.2.9-2）进行计算：

2) 作用在简化直桩嵌固段上的土水平反力可按公式（4.2.9-3）进行计算：

3) 简化竖直桩嵌固段上土的水平反力系数 k_{nv} 可按公式（4.2.9-4）进行计算。土的水平反力系数的比例系数 m 宜按地区经验取值，缺少经验时，亦可按（4.2.9-5）计算：

$$Q = 10c + 100l - 2l^2 - 40\varphi - 10\cos\alpha(c - 4\varphi + 2l) + 640 \quad (4.2.9-1)$$

$$M = l^2 + 4c + 9\varphi - 33l - \cos\alpha(3c + 7\varphi - 10l - 270) - 120 \quad (4.2.9-2)$$

$$P_{nv} = k_{nv} v_{nv} + P_{d0} \quad (4.2.9-3)$$

$$k_{nv} = m(z - h) \quad (4.2.9-4)$$

$$m = e^{0.01(\cos\theta-1)[3\varphi^2-80\varphi+10c]} \times \frac{0.2\varphi^2-\varphi+c}{v_b} \quad (4.2.9-5)$$

式中：

l —— 简化后成单桩后的桩体长度 (m)；

p_{nv} —— 作用在简化直桩嵌固段上土的水平土反力；

k_{nv} —— 简化单桩在分布土反力计算点的法向刚度系数；

v_{nv} —— 简化单桩在分布土反力计算点的水平位移值；

p_{s0} —— 初始分布土反力 (kPa)，对于斜直交替支护结构中的竖直桩嵌固段上的基坑内侧初始分布土反力可按本标准公式 (4.2.2-1) 或公式 (4.2.2-5) 计算，但应将公式中 p_{sk} 用 p_{s0} 、 σ_{sk} 用 σ_{pk} 、 μ_a 用 μ_b 代替，且不计 $(2c_i\sqrt{K_{s,j}})$ 项；

v_b —— 简化单桩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 $v_b=10\text{mm}$ ；

4.2.10 斜直交替组合支护结构嵌固段上的基坑被动土反力应满足下列条件，当不符合时，应增加倾斜桩的嵌固深度或取 P_{sk} 等于 E_{pk} 时分布的土反力。

$$P_{sk} \leq E_{pk} \quad (4.2.10-1)$$

式中：

P_{sk} —— 倾斜桩嵌固段上的基坑主动侧土反力标准值 (kN)，对于单排倾斜桩，可按本标准公式 (4.2.8-1) 计算的分布土反力得出；对于斜直交替组合支护结构竖直桩，可按本标准公式 (4.2.9-3) 计算的分布土反力得出。

E_{pk} —— 倾斜桩嵌固段上的被动侧土压力标准值 (kN)；对于单排倾斜桩，通过按本标准公式 (4.2.2-3) 或公式 (4.2.2-6) 或采用图解法计算的被动土压力强度标准值；对于斜直交替支护结构，通过按本标准公式 (4.2.1-3) 或公式 (4.2.1-6) 计算的被动土压力强度标准值。

4.2.11 倾斜桩支护结构的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。

4.2.12 当倾斜桩桩距较大且前后排桩没有对齐布置时，可采用三维数值分析方法对支护结构受力与变形进行分析。

4.2.13 倾斜桩支护结构的冠梁受力，应按受力构件进行结构设计，冠梁截面正截面、斜截

面及抗扭等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。

4.2.14 斜直组合双排桩支护结构的前后排桩冠梁之间的连梁应根据其跨高比进行截面承载力计算，其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。

4.2.15 单排倾斜桩和斜直交替组合支护结构的嵌固深度应符合下列嵌固（抗倾覆）稳定性的要求（图 4.2.15），斜直交替组合支护结构宜按 4.2.9 简化成单桩考虑：

$$\frac{E_{pk} a_{p1}}{E_{ak} a_{a1}} \geq K_{em} \quad (4.2.15)$$

式中：

K_{em} —— 嵌固（抗倾覆）稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支护结构，

K_{em} 分别不应小于 1.25、1.20、1.15；

E_{ak} —— 基坑外侧主动土压力法向合力的标准值(kN)，相应的主动土压力强度按本标准公式（4.2.1-1）或（4.2.1-5）计算；

E_{pk} —— 基坑内侧被动土压力法向合力的标准值(kN)，相应的被动土压力强度按本标准公式（4.2.1-3）或（4.2.1-6）计算；

a_{a1} —— 基坑外侧主动土压力合力作用点至倾斜桩底端的距离（m）；

a_{p1} —— 基坑内侧被动土压力合力作用点至倾斜桩底端的距离（m）。

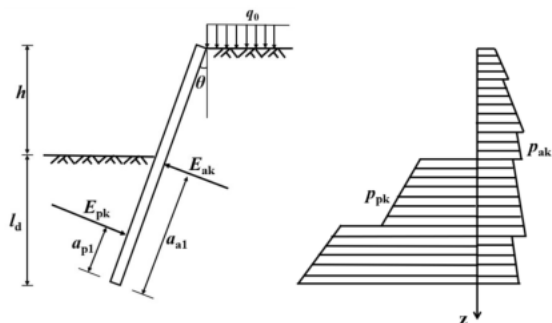


图 4.2.15 单排倾斜桩和斜直交替组合支护结构嵌固（抗倾覆）稳定性验算

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。

4.2.16 倾斜桩支护结构应按下列规定进行整体稳定性验算：

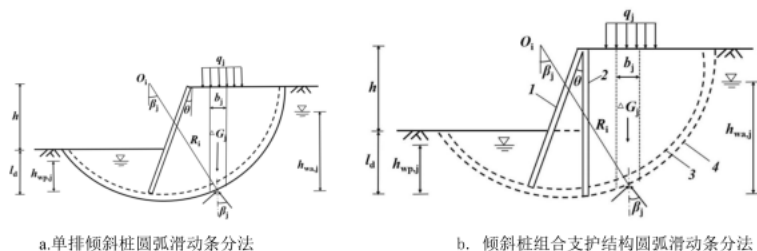


图 4.2.16 倾斜桩圆弧滑动条分法整体稳定性

1-倾斜桩；2-竖直桩；3-倾斜桩滑弧；4-竖直桩滑弧

- 1 整体稳定性可采用圆弧滑动条分法进行验算；
- 2 倾斜桩组合支护结构中倾斜桩与竖直桩均应按公式（4.2.16-1）和（4.2.16-2）进行滑动面验算，稳定性系数取小值。

3 采用圆弧滑动条分法时，整体稳定性应符合下列规定（图 4.2.16）：

$$\min \{K_{s,1}, K_{s,2}, \dots, K_{s,i}, \dots\} \geq K_s \quad (4.2.16-1)$$

$$K_{s,i} = \frac{\sum \{c_j l_j + [(q_j l_j + \Delta G_j) \cos \beta_j - u_j l_j] \tan \varphi_j\}}{\sum (q_j b_j + \Delta G_j) \sin \beta_j} \quad (4.2.16-2)$$

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、三级的支护结构，

K_s 分别不应小于 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不同圆心及半径的所有潜在滑动圆弧确定；

c_j —— 第 j 土条滑弧面处土的黏聚力(kPa)；

φ_j —— 第 j 土条滑弧面处土的内摩擦角($^\circ$)；

b_j —— 第 j 土条的宽度(m)；

β_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 $l_j = b_j / \cos \beta_j$ ；

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

γ_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)；

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

l_d —— 基坑倾斜支护桩支护结构底至基坑底的距离 (m)。

4.2.17 单排倾斜桩支护结构的嵌固深度应符合坑底隆起稳定性要求：

1 支护结构的嵌固深度应符合下列规定 (图 4.2.18-1)：

$$\frac{\gamma_{m2} l_d N_q + c N_c}{\gamma_{m1} (h + l_d) + q_0} \geq K_{he} \quad (4.2.17-1)$$

$$N_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\sigma \tan \varphi} \quad (4.2.17-2)$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi \quad (4.2.17-3)$$

式中：

K_{he} —— 抗隆起安全系数；安全等级为一、二、三级的支护结构， K_{he} 分别不应小于 1.8、1.6、1.4；

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；

h —— 基坑深度 (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 (°) 。

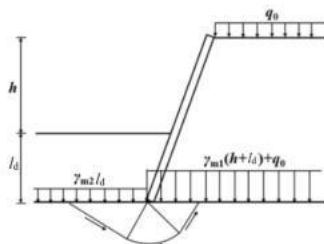


图 4.2.17-1 挡土构件底端平面下土的抗隆起稳定性验算

2 当单排倾斜桩支护结构底面以下有软弱下卧层时,底面土的抗隆起稳定性验算应包括软弱下卧层,公式(4.2.17-1)中的 γ_{m1} 、 γ_{m2} 应取软弱下卧层顶面以上土的重度(图4.2.17-2), l_d 应取基坑底面至软弱下卧层顶面的土层厚度。

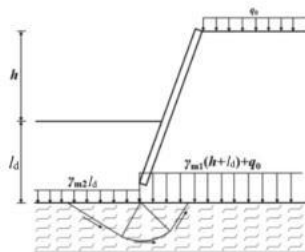
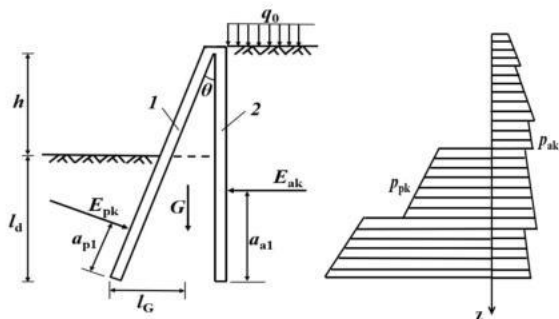


图 4.2.17-2 软弱下卧层的抗隆起稳定性验算

4.2.18 倾斜桩组合支护结构的嵌固深度应符合下式嵌固稳定性的要求(图4.2.18) :



(a) 支护结构受力图 (b) 土压力分布图

图 4.2.18 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

$$\frac{E_{pk}a_{p1} + Gl_G}{E_{ak}a_{a1}} \geq K_{em} \quad (4.2.18-1)$$

式中：

q_0 —— 地面均布荷载 (kPa)；

K_{em} —— 嵌固 (抗倾覆) 稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的挡土结构， K_{em} 分别不应小于 1.25、1.20、1.15；

E_{ak} —— 基坑外侧主动土压力法向合力的标准值 (kN)；

E_{pk} —— 基坑内侧被动土压力法向合力的标准值 (kN)；

a_{a1} —— 基坑外侧主动土压力合力作用点至前桩底端的距离 (m)；

a_{p1} —— 基坑内侧被动土压力合力作用点至前桩底端的距离 (m)；

G —— 斜直交替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桩间土稳定时，宜仅考虑开挖面以下桩间土体重度；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。

l_G —— 基坑倾斜支护桩支护结构的桩间土的重心至前桩桩底的水平距离 (m)。

4.2.19 倾斜桩组合支护结构尚应满足坑底隆起的稳定性要求。

4.2.20 倾斜桩的嵌固深度除应满足本规程第 4.2.15~4.2.19 条的规定外，尚不宜小于 0.8 倍基坑深度。

4.3 构造要求

4.3.1 支护桩设置应保证不与地下结构冲突；对倾斜桩向基坑内倾斜情况，基坑底标高以上，倾斜桩应位于地下结构最外轮廓以外；基坑底标高以下，倾斜桩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。在基坑阴角部位，为防止倾斜桩在基坑底以下冲突，宜采用垂直支护型式并确保其安全。

4.3.2 斜直组合双排桩支护结构应满足下列要求：

- 1 前后排桩的桩顶间距宜取桩径 (或桩身宽度) 的 2 倍~6 倍，内排桩净距不宜大于 1m，且内排桩之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连接前、后排支护桩，并应保证前、后排桩与连梁或厚板的刚性连接；

- 3 前、后排桩应分别与桩顶冠梁采用刚性连接。

4.3.3 倾斜桩 支护应设置冠梁。对预制桩，桩与冠梁连接应满足刚接，桩嵌入冠梁长度（图 4.3.5）要求按下式（4.3.5-1）计算：

$$\frac{6M}{dl^2} + \frac{4V}{dl} \leq \alpha f_c \quad (4.3.5-1)$$

式中：

M —— 桩顶弯矩设计值（N·mm）；

d —— 预制桩外径或长边长度（mm）；

l —— 预制桩伸入冠梁的长度（mm）；

V —— 倾斜支护桩轴力水平分量（N）；

α —— 冠梁混凝土挤压强度系数，取 2.7；

f_c —— 冠梁混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）。

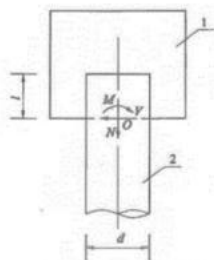
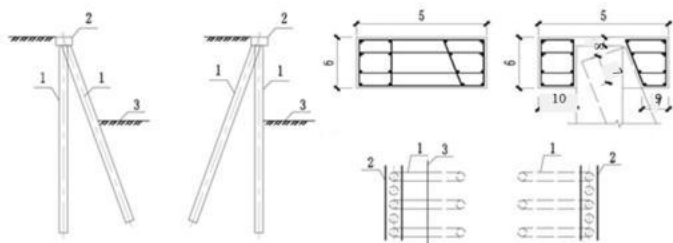


图 4.3.5 预制桩嵌入冠梁长度计算图示

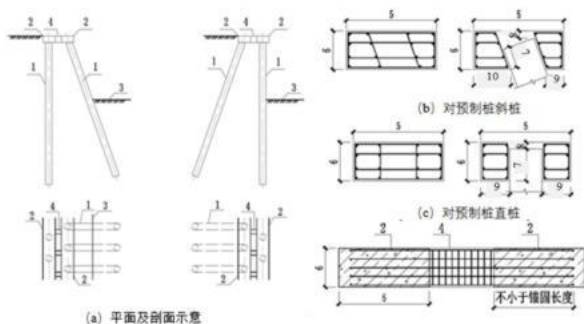
1-冠梁；2-预制桩；l-预制桩伸入冠梁长度；d-预制桩外径或长边边长

4.3.6 倾斜桩 支护的冠梁外包支护桩宽度不宜小于 0.4 倍桩径或 0.4 倍桩截面长边边长，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。对于预制桩，桩顶应伸入冠梁，冠梁配筋应满足如下要求：

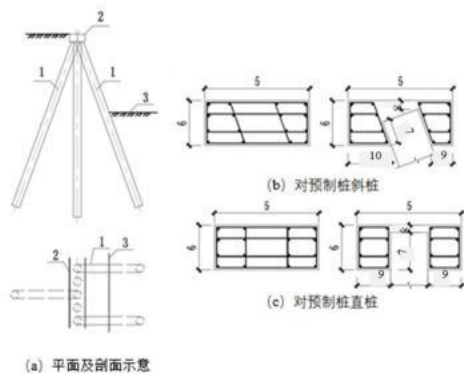
- 1 无桩区域，应对整个冠梁设置闭合箍筋；冠梁纵筋应连续设置，冠梁配筋应满足支护桩桩顶弯矩传递要求；
- 2 有桩区域，应在冠梁外包支护桩区域两个侧面分别设置连续暗梁，且每个暗梁均应设置闭合箍筋；冠梁纵筋应连续设置，冠梁配筋应满足支护桩桩顶弯矩传递要求；
- 3 冠梁在桩顶以上留设厚度需满足冠梁对支护桩抗冲切安全要求；
- 4 冠梁与支护桩间需设置足够措施，确保冠梁对受压桩抗剪切安全，确保受拉桩不与冠梁脱离。各种形式倾斜支护桩及倾斜支护桩组合冠梁配筋构造如图 4.3.6 所示。



4.3.6-1 斜直交替组合支护结构



4.3.6-2 斜直组合双排桩支护结构



4.3.6-3 “八字形”与“个字形”

图 4.3.6 倾斜桩支护冠梁与支护桩连接方式及配筋构造要求

1-支护桩；2-冠梁；3-坡底线；4-连梁；5-冠梁宽；6-冠梁高；7-预制桩嵌入冠梁长度；8-预制桩顶距冠梁顶距离；9-冠梁外扩支护桩最小宽度；10-冠梁外扩支护桩最大宽度

4.4 施工与检验

4.4.1 施工机械应结合地质条件、场地条件、周围环境、施工工艺和桩型要求等综合选取。

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。

4.4.2 支护桩施工产生的振动和挤土效应不应应对周边建（构）筑物的正常使用造成影响，必要时应采取隔振和预防侧挤等有效措施。

4.4.3 倾斜桩除采用预制桩静压法施工外，尚可根据现场情况采用钻孔灌注桩等其他工艺施工。倾斜桩采用新型施工工艺时，应进行工艺试验。

4.4.4 倾斜桩支护结构施工应采用倾斜支护桩专用施工机具或设备，施工前应校正设备施工角度。专用施工机具或设备工作半径与周围建筑物须保持安全距离，应当充分考虑施工过程中设备或桩节倾斜角度所引起的空间位置变化。

4.4.5 倾斜桩支护结构施工前，应根据设计倾斜角结合下返深度及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。

4.4.6 若基坑分期施工，倾斜桩支护结构宜根据监测信息对设计与施工进行动态调整和分折，校核设计与施工参数，指导后续的设计与施工。

4.4.7 倾斜桩支护结构施工时，竖直桩、倾斜支护桩的施工顺序需结合试成桩确定。

4.4.9 当支护桩采用静压法沉桩时，应符合下列规定：

1 倾斜桩施工前应依据定位控制点引测定位轴线，经验收后进行倾斜支护桩桩位放线，放出的桩位经检查无误后方可进行压桩施工；

2 沉桩应根据支护设计图纸结合现场实际情况划分施工区段，合理安排沉桩的先后次序，以控制挤土效应；

3 沉桩前应检查桩的插入角度，符合设计要求后方可沉桩，沉桩过程中应校核桩身倾斜角度符合设计要求；

4 送桩应采用专用钢质送桩器，不得将工程桩用作送桩器；

5 确保龙门架回正后喂桩，不得在龙门架倾斜时喂桩；

6 对正桩位，夹持器抱紧，设备调平后，调整桩身垂直度及倾斜角度满足设计要求后压入；

7 每根桩应有完整施工记录，注明桩的编号、截面尺寸、长度、入土深度、入土角度、桩位偏差、压桩力、贯入度、施工机械和施工日期等，并附桩位图。

4.4.10 支护桩采用静压法施工时，终压条件应为有效桩长和桩顶标高满足设计要求，施工

质量控制应符合下列规定：

- 1 施工桩位偏差应控制在 50mm 以内；
- 2 桩顶标高的允许偏差应为-50mm~+100mm；
- 3 在饱和软粘土地基中沉桩时，应控制压桩范围和数量。

4.4.11 静压压桩过程中出现下列情况之一时，应暂停压桩作业，并分析原因，采取相应措施：

- 1 压力表读数显示情况与勘察报告中的土层性质明显不符；
- 2 桩难以穿越具有软弱下卧层的硬夹层，实际能够压入的桩长与设计桩长相差较大；
- 3 出现异常响声，压桩机械工作状态出现异常；
- 4 桩身出现纵向裂缝或桩头混凝土出现剥落等异常现象；
- 5 桩身夹持机具打滑；
- 6 压桩机下陷严重不能保证桩身垂直度；

4.4.12 支护桩采用预制桩时，接桩应符合下列规定：

1 预制桩需要接长时，其入土部分桩段的桩头宜高出地面 0.5m~1.0m，桩的连接可采用端板焊接或机械连接；

2 下节桩的桩头处宜设导向箍以方便上节桩就位，接桩时上下节桩段应保持顺直，错位偏差不宜大于 2mm；

3 预制桩采用端板焊接方法连接时，应符合下列规定：

- 1) 桩对接前，上下端板表面应用铁刷清理干净，坡口处应刷至露出金属光泽，上下节桩之间的间隙，应用钢板填实焊牢；
- 2) 接桩焊接应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205-2020 的有关规定；
- 3) 焊接材料的型号、质量应符合设计要求并附有出厂合格证书；
- 4) 预制桩焊接时宜先在坡口周围每边对称点焊 2 点~3 点，待上下节桩固定后再分层施焊，施焊应由两个焊工对称焊接；
- 5) 预制桩焊接层数不得少于三层，内层焊应清理干净后方能进行外一层施焊。焊缝应饱满连续，不得有任何裂缝或缺焊等。接桩焊接质量不应低于现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 规定的三级焊缝的要求；
- 6) 预制桩应在焊接好的接头自然冷却后方可继续沉桩。自然冷却时间不应少于 6min，采用二氧化碳气体保护焊的自然冷却时间不应少于 3min，不得用水冷却或焊好立

即沉桩施工。

4 预制桩采用机械连接时，接头性能应符合现行相关标准的规定并满足设计的具体要求；

4.4.13 预制桩进场后，应对预制桩的规格、型号、尺寸及偏差、外观质量及桩身破坏情况等进行全面检查，不符合要求的桩禁止使用。

4.4.14 预制桩起吊、运输和堆放应符合设计及安全操作规程的要求。

4.4.15 预制桩遇特殊情况确需截桩时，应采取有效措施确保截桩后倾斜桩的质量。截桩后，桩顶应表面平整，无缺棱掉角现象。截桩应采用锯桩器，不得采用大锤敲击截桩或强行板拉截桩。

4.4.16 基坑监测需安装测斜管时，测斜管放置宜在预制桩中心孔洞内，采用细砂将其余孔隙填实，保证测斜管与桩身变形同步。

4.4.17 支护桩施工过程中应对以下内容进行施工检查：

1 施工机具的检查；

2 桩位偏差、桩顶标高、桩身垂直度或倾斜角度的检测；

3 桩身裂缝的检测；

4 桩接头施工质量检测；

5 施工对周边环境影响的监测；

6 施工记录的检查

4.4.18 支护桩桩顶锚入冠梁长度应满足设计要求。锚入冠梁部分桩身清理干净，以保证桩身与冠梁混凝土之间具有良好的粘结性。

4.4.19 冠梁钢筋安装时，支护桩桩体两侧箍筋及竖直桩与倾斜桩之间的箍筋须满足设计要求。

4.4.20 支护桩中心孔洞宜采取封堵措施防止浇筑冠梁时混凝土进入孔洞内。

4.4.21 基坑安全等级高且桩间土质较差时，开挖后桩间土不宜长时间暴露，应及时进行桩间土保护施工。桩间土宜采用挂网喷射混凝土的方法进行保护，钢筋网片竖向固定筋宜插入桩间土体内。

5 可回收组合钢桩支护

5.1 一般规定

5.1.1 基坑支护用的可回收钢桩可以采用热轧或冷弯工艺的管型、H 型、U 型或其他异型钢材料。

5.1.2 组合钢桩可采用钢管桩与钢板桩组合、H 型钢与钢板桩组合等形式。

5.1.3 组合钢板桩宜采用 Q355 级钢材，H 型钢的规格、型号及有关要求宜按国家标准《热轧 H 型钢桩》GB/T 32285、《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》GB/T 11263 选用；U 型钢板桩的规格、型号及有关要求宜按国家标准《热轧钢板桩》GB/T 20933、《冷弯钢板桩》GB/T 29654 或行业标准《钢板桩》JG/T 196 选用。钢板桩材质及力学性能指标按照行业标准《钢板桩》JG/T 196 附录 A 和附录 B 执行。

5.1.4 钢桩制作质量应满足《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定。

5.1.5 组合钢桩接头应采用等强度连接，相互之间连接应安全可靠。

5.2 设计

5.2.1 钢管桩与钢板桩组合宜采用图 5.2.2 的布置形式，钢管桩宜采用开口钢管。

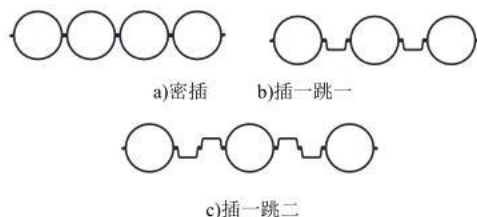


图 5.2.2 钢管桩与钢板桩组合布置型式

5.2.2 组合截面与钢板桩模量比值宜选取在 2~6 之间，U 型钢板桩的规格宜与 H 型钢的规格匹配。

5.2.3 H 型钢与钢板桩组合可采用型钢内置型或型钢外置型，型钢外置宜将钢板桩与型钢进行焊接或卡口连接。型钢内置宜将型钢放置在钢板桩的凹槽内。

5.2.4 钢桩的设计长度应选用定尺标准件，并满足计算要求和构造要求。当 U 型钢板作为帷幕时，其深度应满足渗透稳定性要求。

5.2.5 双排组合钢桩“钢板桩+钢管桩”的排距宜取 $2d \sim 5d$ (d 为钢管桩间距)，钢架梁的宽度不应小于 d ，高度不宜小于 $0.8d$ ，高度与排距比值宜控制在 $1/6 \sim 1/3$ 之间。

5.2.6 双排组合钢桩“型钢+钢板桩”的排距宜取 2~5m，可设置钢围檩，通过钢筋、槽钢等进行连接，上部设置不小于 200mm 厚的混凝土垫层。

5.2.7 组合钢桩中 H 型钢和钢管桩的间距和平面布置形式应根据计算确定。

5.2.8 组合钢桩的设计计算应按施工和使用两种工况计算承载力及变形，施工工况主考虑运输、堆放、沉桩和回收阶段，按单构件计算；使用工况考虑基坑开挖和使用阶段，按单元宽度计算，单元宽度不应少于一个完整组合的宽度。

5.2.9 组合钢桩的计算变形容许值应符合正常使用和周边环境安全的要求。

5.2.10 组合钢桩的设计宜按刚度等效原则采用《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的板式支护体系进行内力、变形、稳定性计算，且止水锁扣的深度尚应满足基坑截水要求。

5.2.11 对于钢板桩与型钢的组合钢桩的计算，当采用等长度组合时，应按组合截面计算；当采用不等长度组合时，应分别计算组合截面和非组合截面。对于钢板桩与钢管的组合，应采用钢管的截面，计算宽度取钢管桩的间距。

5.2.12 当采用焊接或扣件连接，且两种钢材截面模量符合 5.2.1 条，组合钢桩的组合截面参数宜按材料力学的方法计算，组合钢桩的单宽强度应满足下式要求：

$$\frac{\gamma_{GQ}\gamma_s M_{tmax}}{\gamma_1 W_z} \leq f / \gamma_R \quad (5.2.13-1)$$

式中：

M_{tmax} —— 作用在单宽组合钢桩上的最大弯矩标准值（ $KN \cdot m / m$ ）；

W_z —— 单宽组合钢桩的截面弹性抵抗矩（ m^3 / m ）；

f —— 钢材的强度设计值（ N / mm^2 ）；当采用不同强度等级的钢材组合，应按强度较低值选用。

γ_R —— 承载力设计值调整系数；

γ_{GQ} —— 综合分项系数，取 1.25。

γ_1 —— 截面抵抗矩折减系数。焊接组合钢桩，取 1.0，非焊接但上部设有钢筋混凝土帽梁的钢桩墙，取 0.9，桩顶不设有圈梁或围檩分段设置时，或扣件连接时取值宜取 0.6~0.9 或通过试验确定。

5.2.13 当构件间不做连接，或两种钢材截面模量相差较大或长度差异较大，两种构件间协同抗弯性能较差时，主受弯构件的单桩抗弯强度应满足式 5.2.14。

$$\frac{\gamma_{GQ} M_D}{\gamma_1 W_D} \leq f_D / \gamma_R \quad (5.2.14)$$

式中：

M_D —— 单种钢桩截面的弯矩设计值(N·mm);

W_D —— 单种钢桩截面沿弯矩作用方向的截面模量 (mm³) ;

5.2.14 H 型钢和钢板桩的组合钢桩, 剪力全部由 H 型钢承担, 应按下列规定进行抗剪承载力验算:

$$\tau = \frac{1.25\gamma_0 V_k S}{I_w} \leq f_v / \gamma_R \quad (5.2.15)$$

式中:

τ —— 组合钢桩的剪应力(N/mm²) ;

V_k —— 组合截面的剪力标准值(N);

S —— 计算剪应力处 H 型钢对中和轴的面积矩 (mm³) ;

I —— H 型钢沿弯矩作用方向的截面惯性矩 (mm⁴) ;

t_w —— H 型钢腹板厚度 (mm) ;

f_v —— H 钢材的抗剪强度设计值(N/mm²)。

5.2.15 当组合钢板桩设置内支撑或外锚时, H 型钢的翼缘局部承压强度应按下式计算:

$$\sigma_c = \frac{1.25\gamma_0 \psi F}{t_w l_z} \leq f_H \quad (5.2.16-1)$$

式中:

F —— 内支撑的支撑轴力标准值 (N) ; 对于内置型布置时, 在内支撑支撑作用下, 单个 H 型钢承受的集中力标准值 (N) ;

ψ —— 集中荷载增大系数; $\psi=1.0$; 当支撑轴力考虑温度效应时, $\psi=1.1\sim1.2$;

l_z —— 集中荷载在腹板计算高度上边缘的假定分布长度 (mm) 。按下式计算:

$$l_z = a + 5h_y \quad (5.2.16-2)$$

式中:

a —— 支撑轴力沿 H 型钢方向的支承长度 (mm) ; 当为内置型时, 围檩沿 H 型钢长度方向的截面高度; 当为外置型时, 考虑背填, 为混凝土背填或背填钢板的厚度。

h_y —— 自 H 型钢顶面至腹板计算高度上边缘的距离; 对焊接 H 型钢即为上翼缘厚度, 对轧制工字形截面梁, H 型钢顶面到腹板过渡完成点的距离 (mm) ;

f_H —— H 型钢的钢材抗压强度设计值, (N/mm²)。

5.2.16 组合钢板桩中 H 型钢的折算应力应按下式计算：

$$\sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_{HC} - \sigma_H \sigma_{HC} + 3\tau} \leq \beta_{lf} f \quad (5.2.17-1)$$

式中： σ_H 、 τ 、 σ_{HC} —腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力和局部压应力， σ_H 应按下式计算：

$$\sigma_H = \frac{M_K}{I_n} y_1 \quad (5.2.17-2)$$

σ_H 和 σ_{HC} 为以拉应力为正值，压应力为负值；

I_n —— H 型钢截面惯性矩 (mm⁴)；

y_1 —— 所计算点至梁中和轴的距离 (mm)；

β_{lf} —— 计算折算应力的强度设计值增大系数；当 σ 与 σ_c 异号时，取 $\beta_{lf}=1.2$ ；

当 σ 与 σ_c 同号或 $\sigma_c=0$ 时，取 $\beta_{lf}=1.1$ 。

5.2.17 组合钢桩的最大沉桩阻力宜根据试压桩或地区经验确定，无试压桩或地区经验时，可按下式估算：

$$Q_{uk} = \mu \sum \lambda q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (5.2.18)$$

式中：

Q_{uk} —— 施工时的沉桩阻力估算值 (kN)；

μ —— 桩身周长 (m)；

q_{sik} —— 桩侧第 i 层土的静极限侧阻力标准值 (kPa)，按岩土工程勘察报告提供的参数采用。

l_i —— 第 i 层土的厚度 (m)；

A_p —— 桩端面积 (m²)；

λ —— 桩侧极限侧阻力折减系数，取值 0.6~0.8。

5.2.18 组合钢板桩的拔桩阻力宜根据地区经验确定，无地区经验时，可按下式估算：

$$F_b = \mu \sum \beta_{li} l_i + 1.2 e_{aik} B H \mu + G \quad (5.2.19)$$

式中：

F_b —— 钢桩拔桩时的拔桩阻力 (kN) ;

β_i —— 不同土层的桩表面吸附力 (kPa) 见表 5.2.19;

表 5.2.19 不同土层的吸附力 (kPa)

土层	静吸附力	动吸附力	土层	静吸附力	动吸附力
中砂	36	3.0	粉质黏土	30	4.0
细砂	39	3.5	黏土	50	7.5
粉土	24	4.0	硬黏土	75	13.0
砂质粉土	29	3.5			

e_{aik} —— 所在 i 土层中心点上的主动土压力 (kPa), 按《建筑基坑支护技术规程》

JGJ 120 的相关要求计算;

B —— 钢桩宽度 (m) ;

H —— 除去嵌固深度后的钢桩长度 (m) ;

μ —— 钢桩与土的摩擦阻力系数, 取值为 0.35~0.4;

G —— 被拔钢桩的重量标准值 (kN) 。

5.2.20 当组合钢板桩中采用将 H 型钢的翼缘板与 U 型钢板桩的腹板用直角角焊缝连接时, 应按下式进行焊缝强度验算:

$$\tau_f = \frac{N}{2h_e l_w} \leq f_f^w \quad (5.2.20-1)$$

$$\sqrt{\sigma_f^2 + \tau_f^2} \leq f_f^w \quad (5.2.20-2)$$

式中:

τ_f —— 按焊缝有效面积计算, 沿焊缝长度方向的剪应力 (N/mm²) ;

σ_f —— 按焊缝有效面积计算, 垂直于焊缝长度方向的应力 (N/mm²) ;

N —— 焊缝所受压力或拔力 (kN) ;

h_e —— 直角角焊缝的计算厚度 (mm) ;

l_w —— 角焊缝的计算长度 (mm) ;

f_f^w —— 角焊缝的强度设计值 (N/mm²) ;

5.2.21 当组合钢板桩中采用将 H 型钢的翼缘板与 U 型钢板桩的腹板用高强度螺栓连接时, 应按下式进行高强度螺栓强度验算:

$$nN_v^b \leq N \quad (5.2.21-1)$$

$$\frac{My_1}{2\sum y_i^2} \leq N_t^b \quad (5.2.21-2)$$

式中:

y_1 —— 距离组合钢板桩形心轴最远处的螺栓的距离(mm)；

y_i —— 距离组合钢板桩形心轴最远处的螺栓的距离(mm)；

n —— 螺栓个数；

N_v^b —— 一个高强度螺栓的受剪承载力设计值(kN)；

N_t^b —— 一个高强度螺栓的杆轴方向受拉承载力设计值(kN)。

5.2.22 当采用其余组合方案时，宜通过试验确定各构件的内力分担比率，并采用空间结构分析方法或结构与土相互作用的数值分析方法对支护结构进行整体分析。

5.2.23 钢围堰应符合《钢围堰工程技术标准》GB/T 51295 的要求，稳定性验算应包括整体稳定、抗倾覆、抗隆起、抗滑移、抗流土、抗管涌、抗突涌、抗下沉、抗上浮等稳定性验算。

5.3 构造要求

5.3.1 组合钢板桩的平面布置宜平直整齐，避免不规则的转角。在转角处可采用转角钢板桩或异形钢板桩进行转角连接。外置型组合钢桩支护 H 型钢与钢板桩应采用焊接、扣件等连接方式。



图 5.3.1-1 外置型组合钢板桩支护焊接连接

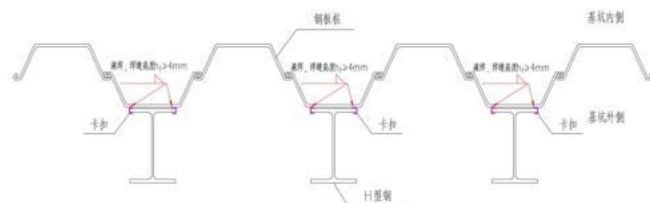


图 5.3.1-2 外置型组合钢板桩支护卡扣连接

5.3.2 平面阳角宜设置可靠的双向约束。嵌固部位为软土时，宜对嵌固部位土体进行加固。

5.3.3 对有截水要求的基坑，钢板桩锁扣应扣紧。钢板桩采用锁口式防水构造时，应在锁口间应涂抹密封止水材料。

5.3.4 组合钢桩中的U型钢板桩和H型钢的连接采用焊接连接时,焊缝等级应不低于二级,焊缝长度、厚度应满足计算要求,构造应满足《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661的相关要求。

5.3.5 组合钢桩中采用将H型钢的翼缘板与U型钢板桩的腹板用高强度螺栓连接时,高强度螺栓应沿H型钢翼缘板中心对称布置连接;应选择10.9级直径不小于M24螺栓,螺栓孔的孔径、孔形应满足《钢结构设计标准》GB 50017的要求,垫圈的厚度不应小于10mm;并按《钢结构设计标准》的要求对高强度螺栓施加预拉力。

5.3.6 U型钢板桩、H型钢、钢管的接长应采用焊接的方式,均应符合等强度连接的要求。U型钢板桩的接长应采用焊接的方式;H型钢的接长可采用焊接或高强度螺栓连接;焊接接头不宜超过1个,焊接接头的位置应避免设在支撑位置或开挖面附近等受力较大处,且距离坑底面不宜小于2m;接头竖向位置宜相互错开,错开距离不宜小于2m。腹板、翼缘应设置加强板,加强板的厚度不应小于母材厚度。

5.4 施工与检验

5.4.1 钢管与钢板桩组合桩加工的允许偏差应符合表5.4.1的规定。钢板桩的加工允许偏差参照《钢板桩》JG/T196相关条款执行。H型钢的加工允许偏差参照《热轧H型钢和剖分T型钢》GBT 11263相关条文执行。钢管与钢板桩组合桩加工要求按表5.4.3执行。

表 5.4.1 钢管桩制作的允许偏差

项目	容许偏差(mm)
管体外径	$\pm 0.1\%$
桩端外径	$\pm 0.5\%$
长度	>0
壁厚	$\pm 10\%$
椭圆度	$\pm 1\%$
钢管和锁扣直线度	$\pm 1\%$ 桩长
端部平整度	≤ 2
端部平面与桩身中心线的倾斜度	≤ 2

5.4.2 钢桩焊接应符合下列规定:

- 1 应清除桩端的浮锈、油污等赃物,保持干燥。
- 2 上下节桩的焊接应该校正垂直度,对口的间隙宜为2mm~3mm。
- 3 焊丝(自动焊)或焊条应烘干;
- 4 焊接应对称进行;
- 5 应采用多层焊,钢管桩各层焊缝的接头应错开,焊渣应清除;

- 7 当气温低于 0℃或雨雪天、无可靠措施确保焊接质量时，不得焊接；
- 8 每个接头焊接完毕，应冷却 1min 后方可沉桩；
- 9 应防止机械手夹嘴将夹环锁扣，钢管与钢板桩组合桩锁扣高度应低于钢管桩 50cm；
- 10 水上接桩时，应控制下节桩桩顶标高，上下节应保持在同一轴线上；为防止水浪、水流的影响，可将下节桩桩头固定，再行接桩。

11 焊接质量应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，每个接头除应进行外观检查外，还应按表 5.4.2 进行检查。

表 5.4.2 接桩焊缝外观允许偏差

项目	允许偏差(mm)
上下节错口（钢管外径<700）	2
上下节错口（钢管外径≥700）	3
H 型钢	1
咬边深度（焊缝）	0.5
加强层高度（焊缝）	2
加强层宽度（焊缝）	3

5.4.3 钢桩的运输和堆放应满足以下要求：

- 1 堆放场地应平整、坚实、排水通畅；
- 2 搬运时应防止桩体撞击而造成桩端、桩体损坏或弯曲；
- 3 钢桩应按规格、材质分别堆放并应符合下列要求：

（1）直径为 915mm 和直径为 820mm 的钢管桩堆放层数不宜大于 3 层，直径为 630mm 的钢管桩堆放层数不宜大于 4 层，钢管桩的两侧应使用木楔塞住；

（2）钢板桩宜采用井字形堆放，支点设置应合理，堆放高度和每层数量应符合表 5.4.3 的规定。

（3）H 型钢底层堆放应采取平铺的方式，两侧翼缘板着地，相邻 H 型钢翼缘板相互平行堆放；底层以上宜采取压扣的方式，即翼缘板相互扣压邻型钢，同向堆放。堆码宽度 8m~10 m 时，堆码高度应不超过 20 层；堆码宽度大于 10m，堆码高度应不超过 25 层。

（4）如地面硬度不足，应根据地面硬度，降低钢桩堆放高。

表 5.4.3 钢板桩井字形堆放标准

规格	堆放高度(m)	每层数量
III (6m)	3.5	8
III (9m)	3.5	6
IV (12m)	4	5
IV (15m)	4	4
IVw (18m)	4	4

5.4.4 组合桩的沉桩可采用机械手和振动锤，应根据周边环境情况、场地条件、机械设备选

择合适的沉桩工艺。

5.4.5 钢管与钢板桩组合桩应先沉钢管桩后沉钢板桩。

5.4.6 H型钢与钢板桩组合桩应先施工拉森钢板桩，再在槽内施工型钢。

5.4.7 在硬塑硬土层中可采用水刀辅助沉桩，在砂土层中可采用螺旋钻（挖机改装）引孔，在碎石土中可采用全套管引孔，回填砂或黏土后拔出套管再沉桩；风化岩中可采用冲孔、旋挖、潜孔垂孔，清孔后，先沉桩再在侧边回填混凝土。

5.4.8 拔桩前可采用振动锤将土体振松，边振动边拔。

5.4.9 在环境敏感的区域，应边拔边注浆回填；对变形要求较高的区域，宜在钢板桩拔出前，对桩与保护对象之间的土体进行加固。

5.4.10 组合桩的垂直度偏差不应大于 1/200，且桩位偏差不大于 20mm。

5.4.11 组合桩体系的腰梁宜完整、封闭，并与支撑体系连成整体，钢筋混凝土腰梁在转角处应按刚节点进行处理，并通过构造措施确保腰梁体系的整体性。

5.4.12 钢腰梁应采用托架（或牛腿）或吊筋与钢桩连接，腰梁与钢桩间的空隙应用钢楔块或细石混凝土填实。

5.4.13 组合桩原材应有质保书，应对材质、桩长、厚度（钢管壁厚、H型钢和钢板桩为翼缘和腹板厚度）、直线度各项进行检验；

5.4.14 热轧 H 型钢外观、尺寸及重量的检验应满足《热轧 H 型钢和剖分 T 型钢》GB/T 11263 相关规定；钢板桩的检验应满足《热轧钢板桩》GB/T 20933 相关规定；钢管的检验应满足本规定的 5.4.4 的相关规定。

5.4.15 对接桩用的焊条应对外包装、质量证明书、焊条型号和质量进行检验。外包装应完好、无破损和受潮；焊条型号应符合设计要求；焊条药皮应均匀，紧密地包覆在焊芯周围，焊条表面应光滑；药皮应有足够的强度，引弧端药皮应倒角，焊芯端面应露出。

5.4.16 桩位及垂直度的检验应符合表 5.4.16 的要求。

表 5.4.16 组合桩的沉桩施工容许偏差

项目	允许偏差（陆上）	允许偏差（水上）
桩心	±10cm	±5cm
垂直度	1%	0.5%
水平直线度	±10cm	±5cm
桩顶标高	±10cm	±10cm

5.4.17 现场焊接的组合桩应满足表 5.4.17 的要求。

表 5.4.17-1 钢板桩焊接连接

项目		允许偏差 mm	示意图
角桩锁扣直线度	$L \leq 12m$	8	

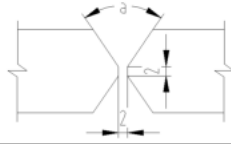
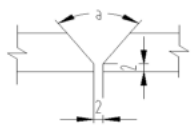
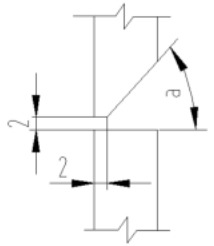
	$L > 12m$	12	
角桩锁扣检测	通过率	100%	
角桩锁扣 Y 焊接尺寸	$A=12mm$	± 1	
	$B=22mm$	± 2	
拉森桩对接坡口角	$\alpha=75^\circ$	$\pm 5^\circ$	
拉森桩对接加强板	$B=16mm$	± 2	
对接加, 角焊缝尺寸	$h_f=12mm$	± 1	

表 5.4.17-2 钢管与钢板桩对焊连接

项目		允许偏差	
钢管桩直线度	$L \leq 18m$	1/2000	
	$L > 18m$	1/1500	
钢管桩对接焊缝	坡口熔透焊接	超声波检测不少于 20%	
钢管水平对接坡口角度	$\alpha=65^\circ$	$\pm 5^\circ$	
钢管竖直对接坡口角度	$\alpha=90^\circ$	$\pm 5^\circ$	

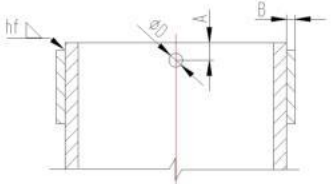
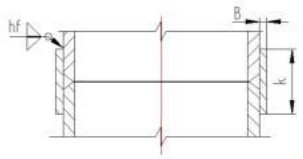
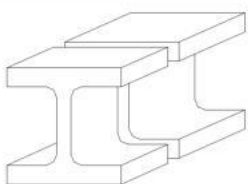
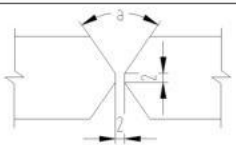
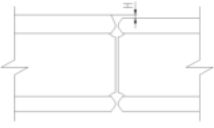
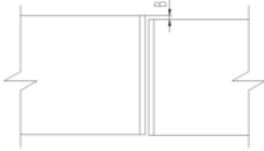
钢管桩加强抱箍	$B=14\text{mm}$	± 2	
加强抱箍角焊缝尺寸	$hf=12\text{mm}$	± 1	
吊耳直径	$D=50\text{mm}$	± 5	
吊耳中心距端部	$A=80\text{mm}$	± 5	
钢管桩对接加强抱箍宽度	$K=300$	± 5	
钢管桩对接加强抱箍厚度	$B=14$	± 2	
加强抱箍角焊缝尺寸	$hf=12$	± 1	
标准锁扣直边焊角尺寸	$h_f=10\text{mm}$	± 1	
标准锁扣弧边焊角尺寸	$h_f=12\text{mm}$	± 1	

表 5.4.17-3 H 型钢对焊连接

项目		允许偏差	
H 型钢对接直线度	$L \leq 18\text{m}$	$1/1000$	
	$L > 18\text{m}$	$1/1500$	
H 型钢对接焊缝	坡口熔透焊接	超声波检测不少于 20%	
翼板对接坡口角度	$a=70^\circ$	$\pm 5^\circ$	
腹板对接坡口角度	$a=65^\circ$	$\pm 5^\circ$	

翼板高度方向错边 (H)	2	
翼板宽度方向错边 (B)	2	

5.4.18 组合桩沉桩应进行过程检查，沉桩的深度、垂直度、水平位置应满足表 5.4.16 的要求。

5.4.19 组合桩沉桩完成后应对锁扣的闭合情况进行检查。对于开口桩及需要截水的项目应在外围补打钢板桩进行封堵。

6 可回收芯材-水泥土墙支护

6.1 一般规定

6.1.1 可回收芯材—水泥土墙的设计与施工应综合考虑工程地质与水文地质、周边环境条件与要求，工程特点和施工条件，合理选择可回收芯材—水泥土墙的工艺参数。

6.1.2 内插芯材宜采用 Q235B 级和 Q345B 级的焊接型钢或轧制型钢，规格、型号及有关要求宜按国家现行标准《热轧型钢和部分 T 型钢》GB/T 11263 和《焊接型钢》YB 3301 选用。

6.1.3 当水泥土墙同时用作截水帷幕时，应根据地下水控制要求确定墙体深度，渗透系数不应大于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。

6.2 设计

6.2.1 可回收芯材—水泥土墙的选型应根据基坑开挖深度、周边环境条件、场地工程地质和水文地质条件、基坑形状与规模、支撑或锚杆体系的设置等综合确定。

6.2.2 水泥土墙宜采用多轴搅拌桩或等厚度水泥土搅拌墙，多轴搅拌桩的直径宜采用 650mm~1000mm；渠式切割水泥土墙墙体厚度宜取 550mm~900mm，模数宜取 50mm；铣削深搅水泥土墙墙体厚度宜取 640mm~1200mm，模数宜按施工设备选用。

6.2.3 芯材可采用 H 型钢、钢管等劲性构件，芯材应满足设计要求，H 型钢和钢管最大尺寸宜小于墙体厚度或桩体直径 150mm。

6.2.4 可回收芯材—水泥土墙中芯材的间距和平面布置形式应根据计算确定，搅拌桩中常用的内插芯材布置形式可采用密插型、插二跳一型和插一跳一型三种。

6.2.5 可回收芯材—水泥土墙应根据支护结构的特性、基坑的使用要求、周边环境条件、施工条件以及地土体的物理力学性质、地下水条件等因素进行设计计算。设计计算尚应分别符合基坑分层开挖、设置支撑或锚杆、地下主体结构分层施工、换撑与回收等施工期的各种工况。

6.2.6 可回收芯材—水泥土墙的承载力、变形计算及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 120-2012 中支挡式结构的有关规定，并应对芯材抗弯、抗剪承载力、水泥土局部抗剪承载力、芯材连接接头的抗弯和抗剪承载力和局部抗压的计算，并根据 3.0.10 条结合构件或连接重复使用情况对设计承载力进行调整。同时对支护结构对

环境的影响进行分析和评估。

6.2.7 可回收芯材-水泥土墙的计算抗弯刚度只应计算芯材的截面刚度,在进行围护结构内力和变形计算以及基坑抗隆起、整体稳定性等各项稳定性验算时,围护结构的深度应取芯材的插入深度,不应计入芯材端部以下水泥土墙的作用。

6.2.8 可回收芯材-水泥搅拌墙应遵照《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199 验算内插型钢的截面承载力和水泥土墙墙身局部抗剪承载力。

6.3 构造要求

6.3.1 可回收芯材-水泥土搅拌墙中的搅拌墙应符合下列规定:

- 1 当搅拌墙达到设计强度,且龄期不小于 28d 后方可进行基坑开挖;
- 2 搅拌墙的入土深度宜比芯材的插入深度深 0.5m~1.0m;搅拌桩体的垂直度不宜大于 1/200。

6.3.2 芯材水泥土搅拌墙中内插型钢应符合下列规定:

1 内插芯材的垂直度不应大于 1/200;芯材宜沿水泥土墙中心线等间距布置,且相邻芯材的净距不宜小于 200mm;

2 当采用焊接型钢时,应按照现行行业标准《焊型 H 型钢》GB/T 33814 的有关要求焊接成型。

3 芯材宜采用整材;当需采用分段焊接时,应采用坡口焊等强焊接。对接焊缝的坡口形式和要求应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 8 的有关规定,焊缝质量等级不应低于二级。单根芯材中焊接接头不宜超过 2 个,焊接接头的位置应避免设在支撑位置或开挖面附近等型钢受力较大处;相邻芯材的接头竖向位置宜相互错开,错开距离不宜小于 1m,且芯材接头距离基坑底面不宜小于 2m。

4 对于周边环境条件要求较高,桩身在粉土、砂性土等透水性较强的土层中或对水泥土抗裂和抗渗要求较高时,宜增加芯材插入密度。

5 芯材-水泥土搅拌墙的转角部位宜插芯材。

6 除环境条件有特殊要求外,内插芯材宜预先采取减摩措施,并拔除回收。

6.3.3 可回收芯材-水泥土墙的顶部,应设置封闭的钢筋混凝土顶圈梁。顶圈梁宜与第一道支撑的围檩合二为一。顶圈梁的高度和宽度由设计计算确定,计算时应考虑由于芯材穿

越对顶圈梁截面的削弱影响，并应满足下述要求：

1 顶圈梁截面高度不应小于 600mm。截面宽度宜大于搅拌桩直径或宽度 200mm 以上。

2 内插芯材应锚入顶圈梁，顶圈梁主筋应避免开芯材设置。为便于芯材拔除，型钢顶部应高出顶圈梁顶面一定高度，一般不小于 500mm，芯材与围檩间的隔离材料在基坑内一侧应采用不易压缩的硬质板材。

3 顶圈梁的箍筋宜采用四肢箍筋，直径不应小于 8mm，间距不应大 200mm；在支撑节点位置，箍筋宜适当加密；由于内插型钢而未能设置的箍筋应在相邻区域内补足面积。

6.3.4 水泥宜采用强度不低于 P·O42.5 级的普通硅酸盐水泥，28d 龄期无侧限抗压强度应满足设计要求，且不应小于 0.5MPa。水泥掺入比不应小于 20%，材料用量和水灰比应结合土质条件和机械性能等指标通过现场试验确定。在填土、淤泥质土等特别软弱的土中水泥用量宜适当提高。

6.3.5 芯材水泥土搅拌墙支护体系的腰梁应符合下列规定：

1 型钢水泥土搅拌墙可采用型钢(或组合型钢)腰梁或钢筋混凝土腰梁，并结合钢管支撑、型钢(或组合型钢)支撑、钢筋混凝土支撑等内支撑体系或锚杆体系设置。

2 型钢水泥土搅拌墙支护体系的腰梁宜完整、封闭，并与支撑体系连成整体。钢筋混凝土腰梁在转角处应按刚节点进行处理，并通过构造措施确保腰梁体系连接的整体性。

3 钢腰梁或钢筋混凝土腰梁应采用托架(或牛腿)和吊筋与内插芯材连接。水泥土搅拌桩、芯材与钢腰梁之间的空隙应用钢模块或高强度等级细石混凝土填充。

6.3.6 当采用竖向斜撑并需支撑在芯材—水泥土搅拌墙冠架上时，应在内插芯材与冠梁之间设置竖向抗剪构件。

6.3.7 在可回收芯材—水泥土搅拌墙中搅拌桩桩径变化处或芯材插入密度变化处，搅拌桩桩径较大区段或芯材插入密度较大区段宜作适当延伸过渡。

6.3.8 芯材水泥土搅拌墙与其他形式支护结构连接处，应采取有效措施确保基坑的截水效果。

6.4 施工与检验

6.4.1 水泥土应按施工组织设计要求进行试成桩，确定实际采用的水泥浆液水灰比、成桩工艺和施工步骤。水泥土的成墙工艺应保证水泥土强度和芯材易插入。

6.4.2 水泥土墙施工时机械就位应对中，平面允许偏差应为±20mm，立柱导向架的垂直度

不应大于 1/250。

6.4.3 除环境条件有特别要求外，内插芯材一般应拔除回收并预先对型钢采取减阻措施。型钢拔除前水泥土搅拌墙与主体结构地下室外墙之间必须回填密实。型钢拔除时须考虑对周边环境的影响，应采取注浆填充桩孔等措施。

6.4.4 对于硬质土层，当成桩有困难时，可采用预先松动土层的先行钻孔套打方式施工。

6.4.5 浆液拌制选用的水泥、外加剂等原材料的技术指标和检验项目应符合设计要求和国家现行标准的规定。

6.4.6 浆液水灰比、水泥掺量应符合设计和施工工艺要求，浆液不得离析。

6.4.7 水泥土成墙后质量检验项目应包括水泥土墙身强度检验及墙体质量检验；用作截水帷幕的重要防渗工程，当设计有要求时，应采用芯样渗透试验确定墙体抗渗性能，必要时可结合墙体注水试验综合确定墙体抗渗性能。

6.4.8 水泥土搅拌桩强度应符合设计要求，并符合下列规定：

1 水泥土搅拌桩的桩身强度应采用试块试验确定。每台班应抽查 2 根桩，每根桩制作水泥土试块 3 组，取样点应取沿桩长不同深度处的 3 点，最上点应低于有效桩顶下 3m，采用水中养护测定 28d 无侧限抗压强度。

2 重要工程宜结合 28d 龄期后钻孔取芯等方法综合判定。试验数量应抽取单桩总数量的 1%，并不应少于 3 根。单根取芯数量不应少于 5 组，每组 3 件试块。钻取芯样宜采用直径 75mm，连续钻取全桩长范围内的桩芯。

6.4.9 等厚度搅拌墙身强度应采用现场钻取芯样强度试验的方法确定，钻芯直径不宜小于 85mm，芯样选取位置应沿墙体深度方向结合加固土层特性确定，每孔取芯数量不应少于 3 组，每组 3 件试块。取芯钻孔垂直度偏差不应大于 1/300，深度不应小于墙体深度，钻取芯样后留下的孔洞应注浆填充。用于抗压强度检测的水泥土墙龄期不宜小于 28d，取芯钻孔数量应符合下列规定：

1 渠式切割水泥土搅拌墙的取芯孔数量宜每 50 延米取 1 个点，且不应少于 3 个检测点。

2 铣削深搅水泥土搅拌墙的取芯孔数量宜不少于总幅数的 2%，且不应少于 3 个检测点。

7 可回收锚索支护

7.1 一般规定

7.1.1 可回收锚索设计与施工应根据场地地质条件和周边环境条件，结合工程要求，选择承载力和回收可靠的锚索类型及合适的施工工艺和回收工艺。

7.1.2 锚索材料、锚索部件的质量标准、质量检验与验收标准应执行本标准规定，且应符合现行国家有关标准的规定。

7.1.3 锚索宜在工厂内完成产品组装；施工前现场应对每根锚索部件进行质量检查，检查合格后方可使用；施工中应对解锁装置、锚头、外露筋体进行保护。

7.2 设计

7.2.1 可回收锚索设计应包括下列内容：

- 1 确定基坑安全等级、基坑设计使用年限、回收期限；
- 2 确定锚索类型、材料要求；
- 3 确定锚索布置、锚索尺寸、单元数量和长度、锚索抗拔承载力、张拉及锁定值、构造等，并对解锁装置极限受拉承载力、锚固性能及回收性能提出要求；
- 4 应对可回收锚索承载力进行计算和验算，包括：锚索锚固体与地层间抗拔承载力计算、锚索筋体抗拉承载力验算和锚索锚固体端部承载力验算。
- 5 应对锚索施工工艺、回收工艺及残留物提出具体要求；
- 6 对锚索试验、检测、监测、验收、回收等提出明确要求。

7.2.2 可回收锚索布置应符合下列规定：

- 1 锚索布置的竖向间距尚应充分考虑地下结构层数、层高、锚索类型及回收等因素；锚索水平间距不宜小于 1.5m，竖向排距不宜小于 2.5m；扩体型锚索水平间距和竖向间距适当加大；当设计计算间距小于 1.5m 时，应错开相邻锚索的倾角，或错开相邻锚索的锚固段位置；
- 2 锚索锚固段的上覆土层厚度不宜小于 4m，扩体型锚索不宜小于 6m；
- 3 锚索倾角宜为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ；
- 4 锚索与相邻基础或地下管线、设施间的净距离宜大于 2.0m；
- 5 扩体型锚索的普通段长度与扩体段直径之比不宜小于 11。

7.2.4 锚索锚固段前端至孔口之间长度不宜小于 5m，且超过潜在滑裂面的长度不应小于 1.5m，扩体段超过潜在滑裂面的长度应适当加长；潜在滑裂面位置应根据支护结构整体稳定性验算或岩土层结构面确定，初步设计时，可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定计算。

7.2.5 锚固段锚固长度宜为 3m~8m（岩石）和 6m~12m（土层）；压力分散型单元锚索锚固长度宜为 2m~4m（岩石）和 3m~6m（土层）；扩体型锚索扩体锚固段前端至孔口之间如存在软弱土层，扩体锚固段前端至软弱土层的距离不应小于 3m。

7.2.6 压力分散型锚索的单元锚索宜按等承载力进行设计，单元锚索数量不宜超过 3 个。

7.2.7 对位移控制要求严格的工程，锚索初始预加力值宜为锚索轴向拉力标准值 1.0 倍；对位移控制要求较低的工程，宜为锚索轴向拉力标准值的 0.70 倍~0.85 倍。

7.2.8 基坑侧壁与主体地下结构的预留净空间应考虑锚索拆除所需的作业空间。腰梁、冠梁外露出的锚索筋体长度应能满足台座尺寸及张拉锁定、回收的要求，宜完整保留和保护。

7.2.9 可回收锚索的极限抗拔承载力应符合下式的要求：

$$R_k \geq K_t N_k \quad (7.2.9)$$

式中：

R_k —— 锚索极限抗拔承载力标准值（kN），按照本标准第 7.2.11 条及第 7.2.12 条的规定计算并通过基本试验确定；

N_k —— 锚索轴向拉力标准值（kN）；

K_t —— 锚索抗拔安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支护结构， K_t 分别应不小于 1.8、1.6、1.5。

7.2.10 等截面型锚索的极限抗拔承载力标准值可按下式估算：

$$R_k = \pi d \sum q_{skl} l_i \quad (7.2.10)$$

式中：

d —— 锚索锚固体直径（m）

l_i —— 锚固段在第 i 土层中的长度（m）；

q_{skl} —— 锚固体与第 i 土层的极限粘接强度标准值（kPa），宜通过试验确定，无试验资料或当地工程经验时，可按表 7.2.10 取值。

表 7.2.10 锚索锚固段极限粘结强度标准值 q_{sk} (kPa)

土的名称	土的状态或密实度		q_{ski}	
			一次常压注浆	二次压力注浆
淤泥质土	—	—	16~20	20~30
黏性土		$I_L > 1$		
	流塑	$0.75 < I_L \leq 1$	18~30	25~45
	软塑	$0.50 < I_L \leq$	30~40	45~60
	可塑	0.75	40~55	60~70
	硬-可塑	$0.25 < I_L \leq$	50~70	75~90
	硬塑	0.50	60~90	85~100
	坚硬	$0 < I_L \leq 0.25$ $I_L \leq 0$	75~90	100~130
粉土	稍密	$e > 0.90$	25~45	40~60
	中密	$0.75 \leq e \leq$	40~65	60~90
	密实	0.90	60~100	80~130
		$e < 0.75$		
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	20~45	35~60
	中密	$15 < N \leq 30$	45~65	75~110
	密实	$N > 30$	65~100	85~130
中砂	稍密	$10 < N \leq 15$	55~75	75~100
	中密	$15 < N \leq 30$	75~90	100~130
	密实	$N > 30$	90~120	130~170
粗砂	稍密	$10 < N \leq 15$	80~130	100~140
	中密	$15 < N \leq 30$	130~170	170~220
	密实	$N > 30$	170~220	220~250
砾砂	中密、密实	$15 < N \leq 45$	190~260	240~290
风化岩	全风化	$30 \leq N \leq 50$	80~100	120~150
	强风化	$30 \leq N \leq 60$	150~200	200~260

注：1 成孔直径 150mm~200mm，注浆一般为纯水泥浆；

2 采用泥浆护壁成孔工艺时，应照表取值后再根据具体情况适当折减；

3 采用套管护壁成孔工艺时，可取表中的高值；

4 对有机质含量为 5%~10% 的有机质土，应按表取值后适当折减；

5 当锚索锚固段长度大于 16m 时，应对表中数据适当折减。

7.2.11 扩体型可回收锚索极限抗拔承载力标准值可按下式估算：

$$R_k = \pi d L_{\text{eff}} q_{sk1} + \pi D L_{\text{eff}} q_{sk2} + \pi (D^2 - d^2) \alpha_p q_p / 4 \quad (7.2.11)$$

式中：

- d —— 锚索普通锚固段直径 (m) ;
- D —— 锚索扩体锚固段直径 (m) ;
- L_d —— 锚索普通锚固段计算长度 (m) ;
- L_0 —— 锚索扩体锚固段计算长度 (m) ;
- q_{sk1} —— 锚索普通锚固段注浆体和土层间的极限粘接强度标准值 (kPa) , 应通过试验确定, 当无试验资料时可按表 7.2.11 取值;
- q_{sk2} —— 锚索扩体锚固段注浆体与土层间的的极限粘接强度标准值 (kPa) , 应通过试验确定, 当无试验资料时可按表 7.2.11 取值;
- α_p —— 锚索扩体锚固段前端阻力发挥系数, 一般取 0.7~1.0;
- q_p —— 锚索扩体锚固段前端土体的极限端阻标准值 (kPa) , 宜通过试验确定, 无试验资料或当地工程经验时, 可按表 7.2.11 取值。

表 7.2.11 扩体型锚索锚固段的极限粘接强度标准值 q_{sk} 和极限端阻标准值 q_p (kPa)

土的名称	土的状态或密实度		极限粘结强度标准值 q_{sk}	极限端阻标准值 q_p
淤泥质土	—	—	16~20	—
黏性土	流塑	$I_L > 1$	18~30	—
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	30~40	240~400
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	40~55	380~750
	硬-可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	50~70	700~1000
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	60~90	950~1300
	坚硬	$I_L \leq 0$	75~90	1100~1400
粉土	稍密	$e > 0.90$	25~45	300~560
	中密	$0.75 \leq e \leq 0.90$	40~65	550~750
	密实	$e < 0.75$	60~100	700~950
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	20~45	500~700
	中密	$15 < N \leq 30$	45~65	650~950
	密实	$N > 30$	65~100	900~1200
中砂	稍密	$10 < N \leq 15$	40~65	800~1000
	中密	$15 < N \leq 30$	60~90	900~1200
	密实	$N > 30$	85~130	1000~1800
粗砂	稍密	$10 < N \leq 15$	80~120	1000~1500
	中密	$15 < N \leq 30$	100~140	1400~1900
	密实	$N > 30$	120~160	1800~2200
砾砂	中密、密实	$15 < N \leq 45$	120~180	1600~2600
风化岩	全风化	$30 \leq N \leq 50$	80~100	1000~1800
	强风化	$30 \leq N \leq 60$	150~200	1100~2300

7.2.12 可回收锚索轴向拉力设计值可按下式计算：

$$N_d = 1.25 \gamma_0 N_k \quad (7.2.12)$$

式中：

N_d —— 锚索轴向拉力设计值 (kN)；

γ_0 —— 重要性系数；

N_k —— 锚索轴向拉力标准值 (kN)。

7.2.13 可回收锚索筋体的工作预应力筋有效截面积应按下式计算：

$$A_s' \geq N_d / \gamma_R f_{py} \quad (7.2.13)$$

式中：

N_d —— 锚索轴向拉力设计值 (N)；

f_{py} —— 筋体抗拉强度设计值 (N/mm²)；

γ_R —— 回收锚索筋体强度调整系数，一般取 0.80~0.95；

A_s' —— 工作预应力筋的有效截面积 (mm²)。

7.2.14 可回收锚索锚固体端部承载力应按下式验算：

$$R_c \leq \beta_c \eta f_{ck} A_{ln} \quad (7.2.14-1)$$

$$\beta_c = (A_m / A_{ln})^{0.5} \quad (7.2.14-2)$$

式中：

β_c —— 锚固体局部受压时面积扩散系数，成孔注浆等截面型锚索建议取值 1，高压旋喷注浆锚索等截面型及扩体型锚索取值不宜大于 4；

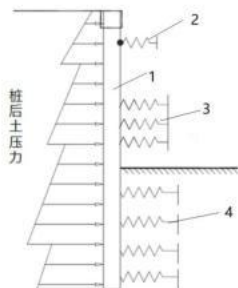
η —— 锚固注浆体有侧限强度提高系数，宜通过试验确定；

f_{ck} —— 锚固体边长 70.7mm 立方体 28d 抗压强度标准值 (kPa)；

A_m —— 锚固注浆体横截面 (m²)；

A_{ln} —— 锚索承载体与锚固体横截面净接触面积 (m²)。

7.2.15 支撑体系与锚索的回收应分层分段回收，分批回收数量应经过设计计算，可采用空间整体计算或弹性杆系有限元计算方法，并根据回收时的实际工况计入回填土和已施工完成的地下室结构的有利作用。



1- 挡土结构；2-由锚索简化而成的弹性支座；
3-回填土的反力弹性支座；4-坑底土的土反力弹性支座

图 7.2.15-1 锚索回收的弹性支点法计算

1 桩后土压力强度与土反力的计算按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定执行；当对围护结构水平位移有严格要求时，宜采用静止土压力或非极限土压力值。

2 未拆除的锚撑按弹性支座考虑，计算方法按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定第 4.1.8 条执行，不再计入拆除或回收的锚索的约束作用；

3 作用在单根桩上的土压力计算宽度应取桩间距，土反力计算宽度（ b_0 ）应按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定第 4.1.7 条确定。采用组合钢桩支护时，作用在围护墙上的主动土压力计算宽度和土反力计算宽度（ b_0 ）应取一个完整组合的宽度。

4 基坑内侧坑底土的水平反力系数可按下式计算：

$$k_s = m(z - h) \quad (7.2.15-1)$$

式中：

m —— 土的水平反力系数的比例系数（ KN/m^4 ），根据当地经验确定，考虑已施工完成的地下室结构及回填土的压重作用可适当提高；

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 ）。

5 回填土的水平反力系数根据回填土的形状、压实程度根据经验取值，或按附录 A 取值 7.2.16 锚索回收期的稳定性验算应考虑坑内回填土和已施工完成的地下结构部分的荷载作用，采用条分法按式（7.2.16-1）计算：

侧,可取 $\mu_j = \gamma_w h_{wp,j}$;滑弧面在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土,

取 $\mu_j = 0$;

γ_w —— 地下水重度 (kN/m^3) ;

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

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

$R'_{k,k}$ —— 第 k 层锚索在滑动面以外的锚固段极限抗拔承载力标准值与锚索杆体受拉承载力标准值 ($f_{pa} A_p$) 的较小值 (kN) ; 可回收锚索锚固段的极限抗拔承载力应按本章的相关规定执行,但锚固段应取滑动面以外的长度;回收最后一道锚索不考虑 $R_{k,k} [\cos(\theta_j + \alpha_k) + \Psi_r] / S_{x,k}$ 项;

α_k —— 第 k 层锚索的倾角 ($^\circ$) ;

θ_k —— 滑弧面在第 k 层锚索处的法线与垂直面的夹角 ($^\circ$) ;

$S_{x,k}$ —— 第 k 层锚索的水平间距 (m) ;

ψ_v —— 计算系数,可按 $\psi_v = 0.5 \sin(\theta_k + \alpha_k) \tan \varphi$ 取值;

φ —— 第 k 层锚索与滑弧交点处土的内摩擦角 ($^\circ$) 。

7.3 构造要求

7.3.1 可回收锚索宜采用压力型锚索 (图 7.3.1-1) 及压力分散型锚索 (图 7.3.1-2) 。

构造一般应包括锚头、台座、筋体、套管、锚固体、承载体和解锁装置。

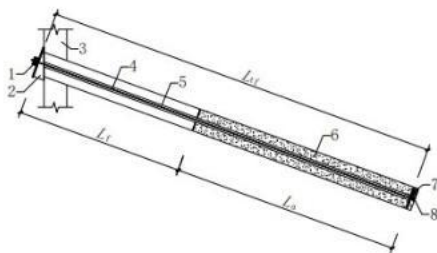


图 7.3.1-1 压力型锚索构造示意图

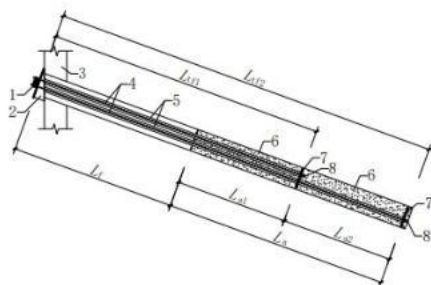


图 7.3.1-2 压力分散型锚索构造示意图

1—锚头；2—台座；3—支护结构；4—筋体；5—套管；6—锚固体；7—承载体；8—解锁装置； L_1 —锚索自由段长度； L_2 —筋体自由段长度； L_3 —锚索锚固段长度； L_{41} 、 L_{52} —单元锚索筋体自由段长度； L_{61} 、 L_{72} —单元锚索锚固段长度

7.3.2 可回收锚索按锚固段横截面形状可分为等截面型锚索（图 7.3.2-1）和扩体型锚索（图 7.3.2-2）。



图 7.3.2-1 等截面型可回收锚索示意图

1—锚索锚固段； d —锚索锚固段直径； L_1 —锚索自由段长度； L_2 —锚索锚固段长度

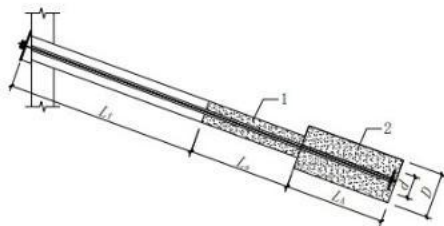


图 7.3.2-2 扩体型可回收锚索示意图

1—普通锚固段；2—扩体锚固段； d —普通锚固段直径； D —扩体锚固段直径； L_1 —锚索自由段长度； L_2 —锚索普通锚固段长度； L_3 —锚索扩体锚固段长度

7.3.3 基坑工程回收锚索解锁装置可选用机械锁型、热熔型和锚筋回转型等。

7.3.4 机械锁型解锁装置构造应符合下列规定：

1 筋体与解锁装置宜采用机械方式连接，可选用且不限于单筋机械锁、主辅筋机械锁及其它机械锁构造，筋体可通过拉拔辅索、顶进、旋转等单一行为或复合行为与解锁装置脱开；

2 采用主辅筋体机械解锁装置，当辅筋体退出后，解锁装置应能及时解除对主筋体的夹持，达到方便、快速回收；

3 当解锁装置和承载体端头采用导向头时，导向头应具有足够的强度和刚度，保证筋体顶进过程可保护解锁装置；

4 解锁装置和承载板应保证配套且可靠连接；

5 解锁装置应保证密封性，不受顶进过程及注浆的影响。

7.3.5 热熔型解锁装置构造应符合下列规定：

1 通解锁导线应附在筋体外侧套管内，并能够承受足够的变形能力；

2 热熔解锁装置在使用条件下应具有足够的化学稳定性，保证其锚固性能；

3 热熔解锁装置应保证密封性，不受顶进过程及注浆的影响。

7.3.6 锚筋回转型构造应符合下列规定：

1 筋体应由成对无粘结钢绞线组成；

2 承载体宜采用 U 型承载体；相邻承载体相互垂直成 90° 组装；

3 筋体和承载体的结合方式应保证回收时外部可通过机械拉钢绞线的一端把钢绞线从杆体中抽出。

7.3.7 解锁装置和锚筋的连接在使用阶段应具有足够的握裹力、稳定性和可靠性，在回收阶段应方便解锁回收。

7.4 施工与检验

7.4.1 锚索正式施工前，宜进行现场试验，验证其可行性和可靠性，并确定施工参数。

7.4.2 锚索宜在工厂内完成产品组装；施工前现场应对每根锚索部件进行质量检查，检查合格后方可使用；施工中应对解锁装置、锚头、外露筋体进行保护。

7.4.3 当锚索穿过的地层附近存在既有地下管线、地下构筑物和相邻基础桩基等障碍物时，应探明其位置、类型和使用状况等情况后方可进行锚索施工。

7.4.4 锚索成孔施工应符合下列要求：

1 位于地下水位以下或软弱松散地层时，锚索宜采用套管护壁成孔工艺；

2 锚索成孔若需进入砂性土含水层时，应避免喷砂冒水对周边环境的不利影响；开孔标高不应低于潜水水位或承压水头标高，否则应在保证周边环境影响可控的前提下采取局部临时降水、调整钻孔作业面等措施；

3 当锚索施工过程中遇到不明障碍物时，应在查明其性质并做出处理前不得钻进；

4 锚索钻孔长度宜超过设计长度 500mm 以上；

5 成孔后、向钻孔安放锚索杆体前应及时清孔，将孔内岩粉和土屑清洗干净，塌孔后应二次清孔，不得强行置入杆体。

7.4.5 可回收锚索杆体安放应符合下列规定：

1 成孔后应及时插入杆体及注浆，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并完成初次注浆；

2 杆体插入孔内时，应检查隔离套管是否松动，以及解锁装置是否损坏；

3 成孔注浆法锚索施工时，初次注浆管宜随杆体一同安装至钻孔内；

4 杆体安放就位至注浆浆体硬化前不应受到扰动，并应对锚索外露杆体采取保护措施。

7.4.6 可回收锚索注浆施工应符合下列规定：

1 注浆应选用水灰比为 0.45~0.55 的纯水泥浆；

2 注浆管应插至距孔底 200~400mm 处，浆液自下而上连续注入，且应确保从孔内顺利排除泥浆、水及气体；当采取重力式注浆方式时，孔口溢出浆液与注入浆液颜色和浓度一致后方可停止注浆；孔底注浆完成后，如孔口浆体液面下沉时应及时进行补浆；

3 压力分散型锚索拔出注浆管时，应在各承载体作用面处停留进行重复注浆，确保承载体作用面下的锚固体中不夹杂黏粒、粉末、碎屑、泥渣、泥浆等杂质及不窝水；

4 采用二次压力注浆工艺时，二次压力注浆管应固定在锚索杆体上，管端置于靠近承载体作用面下的锚固体中，并设置逆止阀；二次压力注浆应在初次注浆体初凝后、终凝前进行，终止注浆的压力不应小于 1.5MPa；

5 采用二次分段注浆工艺时，应在初次注浆浆体的水泥结石体强度达到 5.0MPa 后进行，开环压力不宜低于 2.0MPa。6 锚索开孔位于地下水水位以下时，注浆完成后应及时对穿越截水帷幕的锚孔采取可靠的封孔措施。

7.4.7 可回收锚索保护应符合下列规定：

1 机械锁型可回收锚索端部解锁装置应与无粘结钢绞线连接牢靠，且制作安放过程中应避免损伤解锁装置；锚索外端用于解锁的部件，在施工过程中应予以保护，防止损坏；主辅筋体机械锁型锚索用于解锁的钢绞线，应做好标记，在锚索杆体拆除前，严禁拉拽；

2 热熔型可回收锚索各单元锚索杆体钢绞线宜内置不同颜色导线，或对杆体钢绞线外露端设置明显标识予以区分各承载体；锚索下孔前和注浆前应进行通电检测，检测合格后方可使用；

3 锚筋回转型可回收锚索采用聚酯纤维承载体时，无粘结钢绞线应绕承载体弯曲成 U 型，并用钢带与承载体捆绑牢靠；各单元锚索杆体外露端应按筋材的长短顺序进行分组标记，在锚索杆体拆除前，该标记不得损坏。

7.4.8 锚索的张拉和锁定按《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 相关要求执行。

7.4.9 土方开挖过程中应对锚索外露段采取保护措施，不得碰撞或损害锚索。

7.4.10 锚索筋体回收前应做好以下准备：

- 1 基坑设计时应保证围护空间能满足回收作业的需要；
- 2 锚索回收时，基坑回填作业面应满足施工人员、机具设备的操作距离和安全要求；
- 3 每道锚索筋体回收前，应按设计要求完成基础底板和楼板（中板）位置处的换撑传力；
- 4 锚索回收应估计筋体回收所需的回收拉力，并选取合适的设备或机具。

7.4.11 锚索筋体回收应符合以下规定：

- 1 锚索筋体回收应符合设计工况规定；
- 2 应根据可回收锚索及解锁装置类型，采取对应回收工艺；
- 3 锚索筋体回收应从下往上逐层进行；
- 4 压力分散型锚索回收时，筋体的回收顺序应先短后长；
- 5 若采用免千斤顶的自卸锚具或分体式锚具进行锚头拆除卸压时，其操作方法应按照相应的产品说明书要求进行。

7.4.12 当筋体无法正常回收时，可采用或综合采用以下补救方法：

- 1 直接拔除筋体：若仅有少量筋体无法回收，可用千斤顶对单根钢绞线强行顶拔，直至抽出筋体；
- 2 套管跟进拔除锚索：对单根筋体通过顶拔仍无法回收的锚索，可用锚索钻机全套管钻进后，再拔除锚索；
- 3 降低锚固段摩阻力后直接拔除锚索：可按一定的次序在锚索周边进行钻孔，或采用单管旋喷工艺对锚固段周围土体进行软化处理，降低锚索锚固力后，再拔除锚索。

7.4.13 锚索检测应符合现行标准按《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 相关要求执行。

8 可回收组合内支撑

8.1 一般规定

8.1.1 可回收组合内支撑体系应包括支撑梁和组合围檩，支撑梁宜采用型钢、钢管、预制钢管混凝土及其组合形式。

8.1.2 支撑梁和组合围檩宜由标准件拼接形成，型钢标准件宜采用截面宽度 300mm~800mm 的型钢，型钢腹板及翼缘厚度不应小于 10mm，常用的型钢支撑梁技术参数见附录 B。

钢管标准件宜采用直径 300mm~800mm 钢管，钢管壁厚不宜小于 12mm，圆管截面板件宽厚比等级应采用《钢结构设计标准》GB 50017 规定的 S1、S2、S3 级。如采用非标准件，其材料强度、加工精度等不得低于标准构件。

8.1.3 组合支撑标准件及非标准件的钢材屈服强度不低于 355MPa，其余构件的钢材不应低于 235MPa。

8.1.4 组合支撑不宜兼作施工平台或栈桥，需要设置施工平台或栈桥时，宜与组合支撑脱离独立设置。

8.1.5 可回收组合内支撑的所有构件（不含围檩与围护墙之间的传力件）应由钢结构工厂预制。

8.1.6 基坑开挖、拆除和回收过程中应对型钢组合支撑内力和变形进行监测，并综合其他监测结果实施动态控制。

8.2 设计

8.2.1 组合支撑的稳定验算、强度及变形计算应满足现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017。应对型钢组合支撑安装、拆除及土方开挖的工况进行设计计算，施工应按设计工况要求进行。

8.2.2 可回收组合支撑设计应包含下列内容：

- 1 根据基坑设计使用年限确定支护结构体系的设计使用年限；
- 2 支撑结构的平面和竖向布置；
- 3 组合支撑结构的整体变形及稳定性分析；
- 4 支撑、围檩、立柱、盖板、托梁等构件的承载力、变形及稳定性验算；
- 5 连接节点的设计计算及大样；
- 6 应对组合支撑的施工顺序、拆除回收工艺与要求等提出具体要求；
- 6 应对支撑的预计轴力及施工方法、检测、动态变形监测、验收等提出明确要求。

8.2.3 组合支撑的布置应综合考虑挡土结构受力、土方开挖和主体结构施工等因素。

8.2.4 型钢组合支撑竖向布置应符合下列规定：

- 1 支撑的标高设置应利于控制挡土结构的受力与变形；
- 2 各道支撑竖向净距以及支撑与坑底的净距不宜小于 3m；
- 3 支撑与其下的基础底板或楼板净距不宜小于 0.5m。

8.2.5 组合支撑平面布置应符合下列规定：

- 1 支撑应在同一平面内形成整体，上下各道支撑宜对齐布置；
- 2 围檩或压顶梁上相邻支撑的水平净距，对组合围檩不宜大于 8m，对混凝土围檩或压顶梁不宜大于 10m；
- 3 对撑端部可设置八字撑，八字撑宜对称布置，轴线长度不宜大于 9m，与压顶梁、围檩之间的夹角宜取 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ；
- 4 基坑向内凸出的阳角应设置可靠的双向约束；
- 5 支撑立柱宜避开主体结构的梁、柱及承重墙；同一组支撑梁下立柱与围檩、相邻立柱之间间距不宜大于 10m，不同方向支撑交汇处应设置立柱；
- 6 应利于基坑土方开挖、运输以及主体结构的施工。

8.2.6 组合支撑结构的整体分析应根据组合形式与受力、变形特性可采用有限元法按杆系结构对组合支撑体系进行整体计算分析，根据设计节点构造，合理确定边界约束条件。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。各肢型钢、盖板、斜缀条宜单独作为杆单元计算分析。

8.2.7 组合支撑结构计算时应考虑以下荷载作用：

- 1 挡土结构传到支撑体系上的荷载，应取挡土结构内力分析时得出的支点力。
- 2 支撑结构自重及活荷载；
- 3 预加轴力；
- 4 当温度改变引起的支撑结构内力不可忽略时，宜考虑温度作用；
- 5 立柱之间差异沉降产生的作用。

8.2.8 结构整体分析应考虑下列工况：

- 1 土方开挖至各道支撑底标高、安装支撑；
- 2 支撑安装完成、预加轴力；
- 3 基坑开挖至坑底；
- 4 换撑、拆撑。

8.2.9 可回收组合支撑构件承载力计算和验算应符合下列规定：

- 1 应根据结构整体分析结果对构件承载力进行验算；
- 2 构件承载力计算应考虑施工偏心误差的影响，偏心距取值不宜小于计算长度的 $1/1000$ ，且不宜小于 40mm；
- 3 在计算轴向承载力时需要考虑螺栓开孔对构件截面削弱的不良影响，计算稳定性和

变形时可不考虑；

4 围檩应考虑其承受的轴力；

5 型钢支撑梁应按偏心受压构件进行计算。

6 支撑梁应按偏心受压构件进行计算。杆件的长细比不应大于 75，连系构件的长细比不应大于 120。立柱长细比不宜大于 30。

7 钢管水平支撑在竖向平面内的受压计算长度应取相邻立柱的中心间距；

8 钢管水平支撑在水平平面内的受压计算长度应取系杆中心距与相邻立柱中心间距的较小值。

8.2.10 组合支撑梁的截面（图 8.2.18）强度应按下式计算：

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \leq f \quad (8.2.10)$$

式中：

N —— 轴心压力设计值（kN）；

A_n —— 组合截面净截面面积（ m^2 ），由毛截面面积扣除开孔截面积后得到，当构件多个截面有孔且开孔尺寸不同或开孔数量不同时，取最不利的截面；

M_x, M_y —— 同一截面处绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

W_{nx}, W_{ny} —— 组合截面对 x 轴和 y 轴的净截面模量（ m^3 ）；

f —— 钢材强度设计值（kPa）。



图 8.2.10 截面坐标轴示意图

8.2.11 组合支撑梁的稳定性应按下式计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{M_x}{W_x (1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}})} + \frac{M_y}{W_y} \leq f \quad (8.2.11-1)$$

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \frac{M_y}{W_y (1 - \frac{N}{N'_{Ey}})} + \frac{M_x}{W_x} \leq f \quad (8.2.11-2)$$

式中：

- A —— 组合截面毛截面面积 (m^2);
 N —— 轴心压力设计值 (kN);
 N'_{Ex} —— 参数, $N'_{\text{Ex}} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_x)^2$;
 N'_{Ey} —— 参数, $N'_{\text{Ey}} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_y)^2$;
 λ_x —— 组合截面 x 方向长细比, $\lambda_x = l_{0x} / i_x$;
 λ_y —— 组合截面 y 方向长细比, $\lambda_y = l_{0y} / i_y$;
 l_{0x} —— 组合截面对 x 轴的计算长度, 取托梁的间距 $l_{0x} = 10$;
 l_{0y} —— 组合截面对 y 轴的计算长度, 取组合支撑的实际长度, 不考虑中间托梁的影响 (图 8.2.19);
 φ_x —— 对于 x 轴的轴心受压构件稳定系数, 按照《钢结构设计规范》GB 50017 中附录 C 取用;
 φ_y —— 对于 y 轴的轴心受压构件稳定系数, 按照《钢结构设计规范》GB 50017 中附录 C 取用;
 M_x 、 M_y —— 竖向和水平弯矩设计值 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);
 W_x 、 W_y —— 组合截面的毛截面模量 (m^3)。

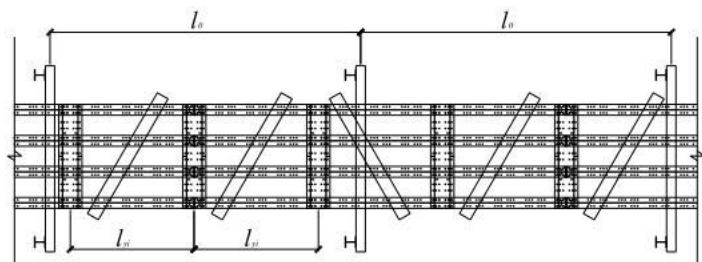


图 8.2.11 型钢支撑梁计算长度示意图

8.2.12 型钢组合支撑梁单肢型钢的稳定性应按下式计算:

$$\frac{N_l}{\varphi_x A_l} + \frac{M_{lx}}{W_{lx}} + \frac{M_{ly}}{1.2 W_{ly} (1 - 0.8 \frac{N_l}{N'_{\text{Ex}}})} \leq f \quad (8.2.12)$$

l_{0x}

式中:

N_i —— 分配到单肢型钢上的轴心压力设计值 (kN)；

A_i —— 单肢型钢截面面积 (m²)；

M_{xi} 、 M_{yi} —— 单肢型钢绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值 (kN·m)；

W_{xi} 、 W_{yi} —— 单肢型钢对 x 轴和 y 轴的毛截面模量 (m³)；

N_{Eyi} —— 参数， $N_{Eyi} = \pi^2 EA_i / (l_{yi} \lambda_{yi})^2$ ；

λ_{yi} —— 单肢型钢截面 y 方向长细比， $\lambda_{yi} = \frac{l_{yi}}{i_{yi}}$ ；

l_{yi} —— 单肢型钢截面对 y 轴的计算长度，取相邻盖板中间距，见图 8.2.11；

φ_{yi} —— 单肢型钢水平面内失稳的稳定系数，按照《钢结构设计规范》GB 50017 中附录 C 取用。

8.2.13 围檩可选用钢筋混凝土围檩或钢围檩。对于承受轴力的围檩应按偏心受压（受拉）构件计算。钢围檩设计计算时，钢围檩拼接处宜根据拼接强度、刚度选择刚接或铰接模式。

8.2.14 围檩强度、变形计算及稳定性验算应符合下列规定：

- 1 围檩内力应按结构整体分析结果取值；
- 2 组合截面模量及抗弯刚度应按组合截面抗剪连接的程度进行折减。

8.2.15 设计应明确支撑各部位预加轴力大小，支撑梁预加轴力值应结合基坑侧壁的变形控制要求及支护结构的内力情况确定，支撑梁预加轴力值不应小于支撑设计轴力的 30%，且不宜大于 75%。

8.2.16 设计有预加轴力的组合支撑梁应配置预应力施加装置，施工应严格按照设计要求施加并保持预应力。预应力施加装置应具有多次施加预应力的功能。不需要预应力的钢支撑施工时应预顶紧以消除构件安装间隙。

8.2.17 型钢组合支撑单道水平支撑系统刚度不足或长细比过大时，可采用双层或双层以上组合支撑梁，上下支撑梁之间应设置钢垫梁，并通过垫梁形成有效连接（图 8.2.17）。

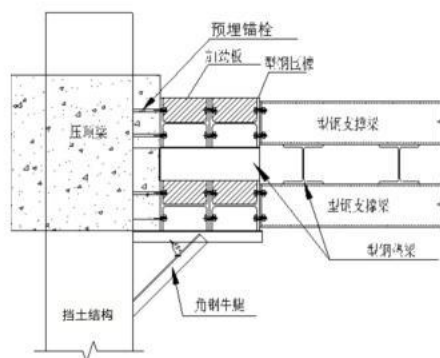


图 8.2.17 双层型钢支撑梁示意图

8.2.18 组合围檩应通过设置于挡土结构上的牛腿支承于挡土结构上，并通过抗剪连接件与挡土结构连接（图 8.2.18）。

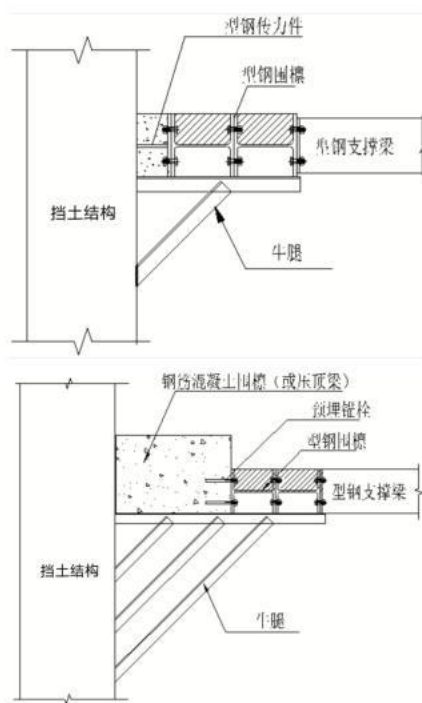


图 8.2.18-1 型钢组合围檩示意图

图 8.2.18-2 型钢-混凝土组合围檩示意

8.2.19 组合围檩结合面抗剪连接件承载力的计算应符合下列规定：

1 组合型钢之间螺栓的抗剪承载力设计值应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017，取受剪和受压承载力设计值中的较小者；

2 混凝土压顶梁与 H 型钢之间螺栓抗剪承载力设计值应按相关规范取值；

3 组合围檩结合面剪力设计值按照结构整体分析相应位置最大剪力取值；

4 组合围檩中 H 型钢标准件与 H 型钢标准件之间的结合面或 H 型钢标准件与混凝土压顶梁之间的结合面处的平均剪应力按下式计算：

$$\bar{\tau}_i = \frac{Q_i S_z^*}{I_i b} \quad (8.2.19-1)$$

式中：

Q_i —— 按整体分析结果得到的围檩剪力 (kN)；

$\bar{\tau}_i$ —— 结合面处平均剪应力 (kPa)；

S_z^* —— 计算剪应力处以上截面对中和轴的面积矩 (m³)；

I_i —— 围檩组合截面惯性矩 (m⁴)；

b —— 围檩组合截面结合面宽度 (m)。

5 三角传力件以外区域组合围檩结合面每米需要配置螺栓或预埋螺栓数量按下式计算，且不应少于 12M24。

$$n_f^b \geq \eta \frac{\bar{\tau}_i b}{N^b} \quad (8.2.19-2)$$

$$n_f^c \geq \eta \frac{\bar{\tau}_i b}{N^c} \quad (8.2.19-3)$$

式中：

n_f^b —— 每延米 H 型钢标准件与 H 型钢标准件结合面所需螺栓的数量 (个/m)；

n_f^c —— 每延米 H 型钢标准件与混凝土冠梁结合面所需锚栓的数量 (个/m)；

N^b —— 单根螺栓所能提供的抗剪承载力设计值 (kN)；

N^c —— 单根锚栓所能提供的抗剪承载力设计值 (kN)；

η —— 考虑螺栓或锚栓弹性阶段受力不均的安全系数，不小于 3.0。

8.2.20 立柱和立柱支承桩计算应符合下列规定：

1 立柱应按偏心受压构件进行强度和稳定性验算，计算时应充分考虑基坑开挖与拆撑过程中的各不利工况，偏心距应根据立柱垂直度并按双向偏心进行计算；

2 立柱的计算长度宜根据支撑布置、托梁、剪刀撑、节点的刚度以及地基土土质、立柱桩情况等立柱约束条件综合确定；

3 立柱桩应进行单桩竖向承载力计算，竖向荷载应按最不利工况取值。

8.2.21 竖向立柱可采用 H 型钢柱、格构式钢立柱、钢管柱或钢管混凝土柱等形式，当竖向荷载较大或变形控制要求较高时，宜设置混凝土灌注桩等立柱支承桩。

8.2.22 立柱和型钢支撑梁应通过设置于立柱的托座、支承于托座的托梁可靠连接（8.2.22）。

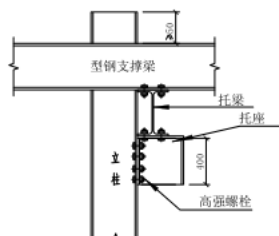


图 8.2.22 组合支撑梁与立柱连接示意

8.2.23 构件之间宜采用高强螺栓连接，连接强度应满足支撑的受力要求。当螺栓用于抗剪时，应采用承压型高强螺栓。

8.2.24 盖板、系杆的计算应符合下列规定：

1 盖板、系杆应根据现行《钢结构设计规范》GB 50017 相关规定，取构件的实际剪

力和按 $V = \frac{Af}{85} \sqrt{\frac{f_y}{235}}$ 计算的剪力两者中的较大值进行验算；型钢拼接处所设盖板螺栓的剪力设计值还应不小于型钢支撑梁轴力的 1/40。

2 连接盖板与对撑或角撑的螺栓个数应按下式计算：

$$n = \frac{V}{N^b} \quad (8.2.24)$$

式中： N^b ——单根螺栓所能提供的抗剪承载力设计值（kN）。

8.2.25 托梁宜按简支梁进行强度和挠度的验算，其最大计算挠度应小于 $L/400$ ， L 为托梁支点间的最大距离。

8.2.26 基坑剖面计算时坑外土体宜设置被动土弹簧，以模拟施加预应力时的坑外被动土压力。支撑的平均刚度应按下式计算确定：

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}} \quad (8.2.26)$$

式中， K_1 ——对撑的平均刚度。

K_2 ——围檩平均刚度，可按现行建筑基坑支护技术规程的规定取值。

8.3 构造要求

8.3.1 组合支撑梁的拼接应符合下列规定：

1 组合支撑梁宜减少拼接节点，当采用多根型钢组合时，拼接点宜相互错开，错开长度不宜小于 1m；

2 拼接位置宜设置在立柱和托梁附近。

8.3.2 盖板、系杆的构造应符合下列规定

1 支撑梁的上翼缘应设置盖板，下翼缘宜设置系杆，且盖板或系杆的位置宜上下对应，常用的盖板和系杆的技术参数可参见附录 C；盖板应与各肢型钢梁垂直设置，系杆与各肢型钢梁斜交设置。

2 盖板或系杆沿支撑长度方向的间距应符合式 8.2.25 的要求，且不宜大于 5m；在对撑、角撑拼接节点处及靠近预应力装置位置宜设置盖板；

3 系杆与型钢支撑梁斜交的角度宜为 30°~60 度，每肢型钢与系杆之间的连接螺栓数量不应少于两个。

8.3.3 组合围檩构造应符合下列规定：

1 组合围檩宜减少拼接节点，拼接位置应避开弯矩较大处，且翼缘处应增加拼接板并采用高强螺栓连接，连接螺栓每侧不应少于 6M24。

2 组合围檩宜沿基坑周边连续设置，形成完整的封闭体系；

3 基坑土方开挖前，压顶梁或组合围檩宜封闭，当不封闭时应在断开处采取加强措施，确保支撑体系整体性；

4 组合围檩应设置加劲板，间距不宜大于 500mm。

5 当采用混凝土围檩时，围檩宜设置混凝土牛腿与角撑或八字撑的斜分肢连接，连接面应与支撑轴线垂直。当采用 H 型钢转接头时，围檩上应预埋钢承压板。

8.3.4 八字撑区域组合围檩受力或变形无法满足要求时，可在八字撑中部设置对撑（图 8.3.4），并按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 相关规定，对中部对撑的强度及稳定性进行计算。

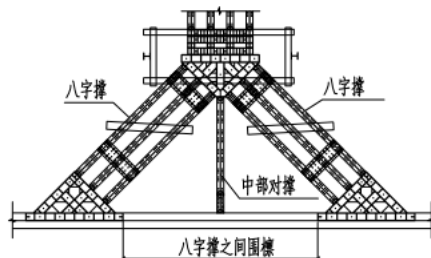


图 8.3.4 八字撑示意图

8.3.5 交叉力系的构件，如八字撑节点、十字交叉节点等，双向分枝可采用钢管，也可采用 H 型钢等其他形式。当采用 H 型钢等非钢管形式时，H 型钢等形式的强度、刚度应该不弱于节点连接的钢管。

8.3.6 交叉力系的构件，交叉处应做加强处理。当采用钢管作为交叉节点的连续管段时，钢管内部应设置 2~3 道加劲板，加劲板位于斜分枝与主分枝相交处范围内，加劲板厚度不小于 12mm 与钢管壁厚的较小值。加劲板中央不宜开孔。加劲板宜采用部分熔透焊缝焊接。

8.3.7 八字撑斜分枝与直分枝的焊接连接强度（抗弯、抗剪、抗拉）应不弱于分枝的母材。

8.3.8 八字撑标准节点可分为组合八字撑节点和单八字撑节点两种。八字撑标准节点的斜分枝与直分枝之间的标准夹角为 45 度。

8.3.9 对于大跨度钢管支撑体系中，当组合八字撑中部的主撑受力过大，必须采用双拼钢管时，八字撑节点的设计应使双拼钢管均匀受力。

8.3.10 系杆可采用钢管，也可采用 H 型钢。系杆中心线可与主支撑中心线位于同一标高。当系杆中心线与支撑中心线位于同一标高时，系杆与支撑的相交角度宜为 90 度，系杆宜通过抱箍式装置与支撑连接，系杆与抱箍之间的螺栓连接不少于 4M20，抱箍见图 8.3.10。

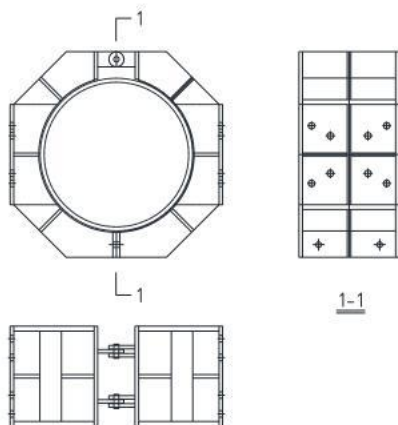


图 8.3.10 横向抱箍大样

8.3.11 组合围檩与挡土结构的连接应符合下列规定：

- 1 围檩与挡土结构之间应通过抗剪连接件连接，二者之间的空隙应采用强度等级不低于 C25 的细石混凝土填实；

- 2 围檩底部的牛腿平面间距不宜大于 3m;
- 3 对型钢-混凝土组合围檩,应在混凝土梁内预埋与型钢连接的锚栓,锚栓数量每米不应少于 8M24。

8.3.12 组合支撑梁与围檩的连接宜采用钢结构工厂预制的三角传力件连接,也可采用 H 型钢转接头焊接或采用挂板连接(图 8.3.12),并应符合下列规定:

- 1 组合支撑梁与围檩斜交时应在交接处设置三角传力件,常用的三角传力件技术参数可参见附录 D;
- 2 连接处的围檩应设置加劲板,加劲板间距不应大于 500mm,加劲板的厚度应由计算确定且不小于 10mm。

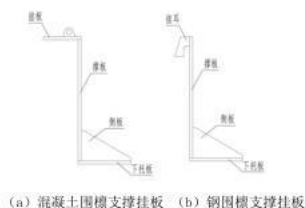


图 8.3.12 挂板构造图

8.3.13 组合支撑梁与立柱的连接可采用托梁或抱箍的形式形成约束,并应符合下列规定:

- 1 托梁和托座应对组合支撑梁在侧向和竖向形成有效约束;
- 2 托梁与组合支撑梁单肢支撑、托梁与托座之间均应采用螺栓连接,螺栓数量应通过计算确定,托梁与支撑梁单肢支撑之间的连接螺栓不应少于 2M24,托梁与托座之间的连接螺栓不应少于 4M24。

8.3.14 立柱插入坑底土层深度应满足竖向荷载要求,坑底为土质时,最小插入深度不应少于 3m。立柱桩也可采用灌注桩。立柱在灌注桩内的锚入长度应根据计算确定,不宜小于立柱边长或直径的 4 倍,且不宜小于 2m。

8.3.15 立柱和立柱支承桩构造应符合下列规定:

- 1 相邻立柱的间距应根据支撑布置、竖向荷载的大小以及支撑杆件的稳定性要求确定;
- 2 立柱宜设置于对撑、角撑组合构件的侧面,并宜成对设置;
- 3 对撑、角撑区域成对设置的立柱之间宜设置剪刀撑,剪刀撑轴力的计算和承载力的验算应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定;
- 4 当对撑或角撑在施加预应力位置断开时,立柱、托梁和托座的设置应同时满足断开位置两侧支撑构件的竖向支承要求;
- 5 立柱在穿越主体结构底板范围内应设置可靠的截水措施。

8.3.16 预应力装置宜设置于支撑梁端部,当设置在钢支撑中部时,应确保预应力装置在受

压、受弯、受剪等方面不弱于钢支撑的拼接强度；常用的预应力装置技术参数可参见附录 D，其构造应符合下列规定：

- 1 加载横梁宽度不应小于组合支撑梁的宽度；
- 2 采用千斤顶施加预应力后，应保留千斤顶或设置保力盒；当采用千斤顶保留式预应力装置时，千斤顶承载力应满足支撑受力要求；千斤顶宜有油压自锁功能，应有机械自锁功能，或预应力装置自身具备机械自锁功能，机械自锁承载力应满足支撑受力要求；当采用千斤顶非保留式预应力装置时，应设置保力盒或设置轴力自动补偿系统，预应力装置传力机构的承载力应满足支撑受力要求；
- 3 有长度调整功能的预应力装置在预应力加载时应注意伸缩长度，初始伸长长度不宜小于拆撑时组合支撑长度的弹性伸长量和挡土结构回弹量之和；
- 4 当采用千斤顶保留式预应力装置且预应力装置位于支撑中部时，千斤顶的活塞顶端部不应设置可转动的球形铰接头；当采用有球形铰接头的千斤顶时，应对球形铰接头进行限位，或对整个预应力装置进行限位或加固，使其不可转动。
- 5 预应力装置的数量及位置可按表 8.3.16 确定。

表 8.3.16 预应力装置的数量和位置要求

型钢支撑梁长度	预应力装置数量	预应力装置设置位置
30m 以内	1	支撑一端
30~60m	1	支撑中部
60m 以上	2	支撑两端各一个

8.3.17 对变形控制有严格要求，或对组合支撑安全性有较高要求的基坑，宜在支撑端头增设轴力自动伺服系统。

8.4 施工与检验

8.4.1 可回收组合内支撑必须采用工厂化加工生产且符合设计要求的构件安装施工，施工前施工单位应根据设计方案对支撑结构进行细化设计，构件的细化和制作应满足设计要求，细化设计方案须经得基坑设计单位审核通过方能实施。

8.4.2 深基坑专项施工方案应包含组合支撑的安装、预应力施加与控制、换撑与拆撑等施工内容，并明确土方开挖与组合支撑施工之间的相互制约条件。

8.4.3 托架、托座与托梁安装应符合下列规定：

- 1 托架与挡土结构的连接、托座与立柱的连接均应控制标高和水平度；
- 2 在施加预应力前，应将单肢型钢约束在托梁上，待预应力施加完成后，再对托梁和

单肢型钢采取螺栓连接；

3 托梁不应设置接头。

8.4.4 型钢围檩和型钢支撑梁的安装应符合下列规定：

- 1 土方开挖范围内，型钢围檩应形成封闭受力体系；
- 2 型钢支撑梁与型钢围檩斜交处，应设置专门传力构件。

8.4.5 高强螺栓紧固应分两次进行，初拧扭矩值为终拧的 50%~70%；

8.4.6 预应力施加和控制应符合下列要求：

- 1 千斤顶应有经过标定的计量装置；
- 2 组合支撑安装完毕并达到设计要求后方可施加预应力；
- 3 八字撑和用系杆相连的角撑或对撑内的各根支撑应同步施加预应力，不可逐根施加。同步施加预应力宜采用自动化加载设备。
- 4 正式施加预应力之前，应先预顶紧以消除支撑安装间隙。预顶紧采用的预应力值可为设计预应力值的 5%~10%，且单个预应力装置不宜小于 20 kN。
- 5 预应力应分级施加，每级压力施加后应保持压力稳定 10 分钟后方可施加下一级压力。达到设计规定值后，应保持压力稳定 10 分钟后，方可锁定；
- 6 预应力施加时，千斤顶压力的合力点应与型钢支撑梁轴线重合，千斤顶应在组合支撑梁轴线两侧对称、等距放置，且应同步施加压力；
- 7 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；
- 8 应配置相关锁定装置减小预应力施加后出现的不同程度的损失，并应根据温度变化和监测数据及时调整预应力。

8.4.7 基坑的挖土应遵循“先撑后挖”的原则。围檩闭合前不宜开挖该道支撑以下土体。

当需要在围檩闭合前开挖支撑下部土体时，应补充验算围檩不闭合的工况。

8.4.8 组合支撑的拆除应符合下列规定：

- 1 当换撑措施达到设计要求时才可实施拆撑。
- 2 拆除前应先释放预应力，释放预应力时，先用千斤顶顶开加压件，再卸除保力盒，然后松开千斤顶，依次吊出单肢型钢，每级预应力释放后宜观察 30min，并检查节点变化及基坑周边变形情况，如有异常应立即整改；
- 3 拆除应遵循如下顺序：①盖板、系杆；②型钢支撑梁、围檩、高强螺栓；③托架、托梁；④立柱；高强螺栓应间隔拆除。
- 4 构件应分件拆除，拆除的构件应按指定位置分类堆放。

8.4.9 钢支撑挂板与钢支撑轴向方向的搭接长度不宜小于 150 mm；当端头需要安装轴力计

时，钢支撑挂板在支撑方向的长度为轴力计长度与搭接长度之和。

8.4.10 拆撑过程应加强监测和现场巡视，发现安全隐患应立即停止拆除作业，待隐患排除后方可继续拆除作业。当构件变形速度超过设计规定时，可采取增设支撑、坑外卸载等措施控制基坑变形，当局部螺栓出现崩裂、剪断等情况时，应立即采取加强措施。

8.4.11 昼夜温差较大，影响型钢组合支撑受力时，应加强轴力监测和评估。

8.4.12 基坑施工过程应加强对支撑系统的巡查，对巡查发现的问题应及时整改，巡查主要包括下列内容：

- 1 组合支撑梁、立柱及围檩的工作状态；
- 2 高强螺栓是否松动、开裂；
- 3 组合支撑上是否有违规堆载；
- 4 组合支撑上是否有积水；
- 5 组合支撑的受力工况是否与设计要求一致。

8.4.13 围檩、立柱变形较大时应及时采取加强措施。

8.4.14 工程因故停工时，不应间断对组合支撑的维护，复工前应对组合支撑进行全面检查。

8.4.15 组合支撑安装完成并施加预应力后，对应下层土方开挖前应进行安装质量检验。检验应包括下列内容：

- (1) 组合支撑梁和立柱的尺寸、位置、标高偏差；
- (2) 组合支撑梁的预应力；
- (3) 单肢型钢的连接节点、型钢支撑梁与挡土结构或立柱的连接节点的安装质量。

8.4.16 预应力施加及基坑开挖过程中应核查组合支撑的受力状况和节点连接紧密程度等。

8.4.17 组合支撑的质量检验应按照分项工程分批检验。组合支撑作为分项工程的质量验收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、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。检验批的质量验收应按主控项目和一般项目进行验收，验收记录可采用本规程附录 E 的样式进行填写。

8.4.18 钢板、型钢、焊接材料、钢管、以及高强螺栓的进场验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 的有关规定。预应力施加设备的规格、性能应符合现行国家产品标准和设计要求，进场前应检查质量合格文件和外观，检查数量为全数检查。

8.4.19 标准件、高强螺栓和非标准件进场应全数进行外观检查，应无裂纹、夹渣、分层和大于 1mm 的缺棱。其余项目的验收标准应符合表 8.4.19 的规定。

表 8.4.19 标准件、辅助件和非标准件进场验收标准

项	序	检验项目	允许值	允许偏差		检查方法	检查数量
				单位	数值		
主控	1	规格	设计值	—		产品质量相关文件	全数

项目	2	外形尺寸	设计值	mm	±3	用钢尺量	
一般项目	1	垂直度	—	mm	$<h/1000$, 且 <10	用线锤检查	总数的 5%, 且不少于 3 个
	2	平直度	—	mm	$\leq 0.11\%$	用平尺检查	
	3	焊缝厚度	设计值	—		用焊缝检验尺	
	4	孔间距	设计值	mm	±2	用钢尺量	
	5	孔径		mm	±2	游标卡尺检查	
	6	孔数		个	0	观察	

8.4.20 组合支撑中重复使用的构件，其质量检验应符合下列规定：

- 1 应分批对钢材品种、规格和性能进行检查，检验数量不应少于总数的 5%，且不应少于 3 个；
- 2 标准件的局部翘曲幅度不得大于 10mm，且每米长度内翘曲部位不得大于 2 处；
- 3 螺栓和螺母应全数进行检查，不得出现裂纹，且丝牙不得出现断残、磨平。

8.4.21 构件的施工允许偏差应符合表 8.4.21 的规定：

表 8.4.21 各构件施工允许偏差

序号	项目	允许偏差
立柱施工	定位	50mm
	垂直度	$\leq 0.5\%$
	柱顶标高	±30mm
牛腿和型钢围檩	板面标高	±10mm
	水平度	1/1000
三角传力件	轴线偏差	±10mm
	顶面标高	±10mm
型钢支撑梁	两端中心线的偏心误差	20mm
	两端的高差	20mm 或型钢支撑梁长度的 1/600，两者之中取较小值
	挠曲度	不大于跨度的 1/1000
	轴线偏差	±10mm

8.4.22 水平支撑系统安装施工质量验收标准应符合表 8.4.22 的规定。

表 8.4.22 水平支撑系统安装质量验收标准

项	序	检查项目		允许值		允许偏差		检查方法
				单位	数值	单位	数值	
主控项目	1	外轮廓尺寸		—		mm	±5	水准仪
	2	预应力		—		kN	50	油泵读数或传感器
一般项目	1	型钢支撑梁	支撑挠度	—		l/1000		钢尺
	2		平面位	—		mm	20	钢尺

			置				
	3		标高	—	mm	±20	水准仪
	7	连接质量		—	设计要求		
	10	螺栓松紧度		N·m	≥105	—	扭矩扳手
	11	盖板系杆	尺寸、规格	—	mm	-1	钢尺
	12		间距	—	mm	20	钢尺
	13	焊缝厚度		设计值	—		焊缝检验尺

8.4.23 竖向支承系统的质量检验应符合表 8.4.23 的规定。

表8.4.23 竖向支撑系统质量验收标准

项	序	检查项目	允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	立柱截面尺寸	mm	5	钢尺
一般项目	2	立柱长度	mm	50	钢尺
	3	垂直度	mm	1/100	钢尺或吊线
	1	立柱挠度	mm	l/500	钢尺
	2	立柱顶标高	mm	±30	水准仪
	3	平面位置	mm	≤20	钢尺
	4	平面转角	°	≤3	钢尺
	5	托座、托架标高	mm	±5	水准仪

8.4.24 型钢组合支撑监测应包括型钢支撑梁轴力、围檩应力和立柱位移等内容，并符合表 8.4.24 的规定。

表8.4.24 型钢组合支撑监测项目

监测项目	基坑设计等级		
	一级	二级	三级
型钢支撑梁轴力	应测	应测	应测
立柱位移	应测	应测	可测
围檩应力	应测	宜测	可测

8.4.25 监测频率应不低于《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 和表 8.4.25 规定。

表 8.4.25 监测频率

施工进度	内力监测频率	位移监测频率
预应力施加阶段	≥2 次/h	≥1 次/d
基坑开挖阶段	≥2 次/1d	
拆换撑、回收阶段	≥2 次/h	

9 钢支撑轴力自动补偿系统

9.1 一般规定

9.1.1 钢支撑轴力自动补偿系统适用于周边环境及基坑围护变形控制要求较高的深基坑工程，主要适用于基坑工程中 $\Phi 609$ 、 $\Phi 800$ 钢支撑体系，其他可参照执行。

9.1.2 轴力自动补偿系统应包括中央控制中心（PC 系统）、电控柜（DCS 控制系统）、油泵泵站和自动补偿端以及相应的油路和线缆等。

9.1.3 轴力自动补偿系统运行方式应满足下列要求：

1 中央控制中心运行中应能获取实时轴力并与设计预加轴力进行比较。

2 DCS 控制系统应能将接受到的千斤顶轴力数据传输至 PC 系统；并自动控制油泵泵开启或关闭。

3 油泵泵应能提供自动补偿端轴力支持，同时通过传感器将实时轴力数据反馈给 DCS 控制系统。

4 自动补偿端千斤顶应能直接将压力施加于挡土结构或钢围檩上。

9.1.4 轴力自动补偿系统的功能应符合下列规定：

1 应能实时采集钢支撑轴力数据，数据采集应准确，参数采集误差不宜大于 1%；

2 自动补偿端应配置机械安全锁；

3 应具备应急供电功能，确保断电时系统能正常工作；

4 应具有故障自动报警功能；

5 应采用稳定可靠的数据传输方式；

6 具备远程控制和现场控制两种模式。

9.1.5 中央控制中心应能全面监控整个系统的实时运行情况，其功能应符合下列规定：

1 应能设定钢支撑预加轴力的设计值、自动补偿上限值、自动补偿下限值、预加轴力上限值等关键技术参数。

2 应能实时采集、查看、存储轴力数据。

3 应能对监控轴力数据进行自动比对，且能根据比对结果对油泵泵站进行实时自动调节。

4 应能实时显示监控数据及设备状态，且能实现设备故障的自动报警。

5 应钢支撑轴力数据采集的响应时间不应大于 1min/次，控制的响应时间不应大于 1min/次。

9.1.5 电控以及油泵系统的功能应符合下列规定：

- 1 应能按照中央控制中心的指令控制电动油泵按照指令调控油压。
- 2 应能实现轴力等数据的自动采集并实时传输给中央控制中心。
- 3 应能实时监测并自动调节自动补偿端油压，油压控制精度及油压测量精度应不低于 0.1MPa。
- 4 应具有维持液压稳定、保证系统安全的功能。
- 5 应具有液压油液位观测功能。
- 6 数控泵站各密封件、电动油泵的性能应符合《预应力用电动油泵》JG/T 319 的规定。
- 7 电动油泵宜使用 ISO 粘度级为 VG32 及以上的液压油。
- 8 液压油管与设备连接可采用承插接口或螺纹接口，并应采取液压油防漏措施。

9.1.6 自动补偿端应符合下列规定：

- 1 放置于钢套筒内的液压千斤顶不得偏心和移位。液压千斤顶和钢套筒应采用可分离结构。
- 2 钢套筒与钢支撑宜通过法兰连接，法兰使用的高强度螺栓长度不应小于 90mm，螺栓等级不应低于 8.8 级。
- 3 液压千斤顶应自带机械锁，机械锁和千斤顶不得分离，应成为一个整体。当预加设计轴力后应能立即将机械锁锁止。当系统有故障时，钢支撑应不失稳。
- 4 三角搁架应置于钢套筒下方，并与围护体焊接，其宽度应大于钢套筒。如采用钢围檩，则在应钢套筒上方采取措施与钢围檩固定。

9.1.7 轴力自动补偿系统钢支撑施工前，应组织设计交底和图纸会审，项目其他参建方应明确相关设计要求，并需对图纸中的部分节点进行深化。

9.1.8 施工前，应根据工程设计要求、现场施工条件、周边环境条件和开挖工况等，编制钢支撑轴力补偿系统专项施工方案，并经审批通过后方能实施。

9.2 设计

9.2.1 轴力自动补偿钢支撑支护体系应计算预加轴力的荷载作用，预加轴力应根据基坑变形控制标准确定。应提供钢支撑预加轴力设计值、预加轴力上限值和钢支撑极限承载力值，

且预加轴力上限值至少应比钢支撑极限承载力小 300kN。

9.2.2 轴力自动补偿钢支撑应按偏心受压构件进行计算，应考虑支撑与围护结构夹角、结构自重、安装误差、立柱隆沉等的作用影响。当温度影响不可忽略时，应计算温度的作用。支撑构件承载力验算尚应符合《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120。

9.2.3 应对钢支撑的预埋件、连接件等构件进行承载力验算。当采用型钢围檩时，应验算其局部受压安全。

9.2.4 采用轴力自动补偿钢支撑的板式支护体系应采用超静定结构，应能避免因个别构件失效而导致的整体破坏。

9.2.5 采用地下连续墙作为围护结构的狭长形基坑，可采用轴力自动补偿系统钢支撑和竖向支承结构组成的无围檩支撑体系。当采用灌注桩、SMW 工法桩或咬合桩等作为挡土结构时，钢支撑端部应设置钢围檩。钢围檩与挡土结构间的空隙应采用强度不低于 C40 的混凝土或高强度等级的灌浆料填充密实。

9.2.6 轴力自动补偿钢支撑的平面布置应符合受力明确、均衡对称、整体可靠、便于施工的原则。

9.2.7 轴力自动补偿钢支撑长度超过 20m 时宜设置立柱约束，且支撑长细比不宜超过 75。

9.2.8 施工过程中应根据基坑及周边环境的监测数据变化按需适时调整轴力值。

9.3 施工与检验

9.3.1 轴力自动补偿系统的正常工作环境应符合下列规定：

- 1 温度：-20℃～50℃（如户外温度低于-20℃，液压系统需采取相应的措施）；
- 2 相对湿度：10%～90%；
- 3 电源电压波动：±15%。

9.3.2 设备与机具出厂应有相关的证明文件，标志及编号应清晰可见。在包装和运输过程中，电控柜和液压站不得横向堆放、倒置以及竖向叠放。自动补偿端竖向叠放不得超过 2 层。油管及电缆线不应折叠、打结，应堆放有序，并做好防水措施。

9.3.3 施工现场布置应按照以下要求进行：

- 1 不应影响土方开挖、车辆通行、混凝土浇筑，且利于设备保护、使用、管理和维护；
- 2 中央控制中心应布置在基坑周边，其与现场电控柜之间的信号传输距离应尽量缩短；
- 3 电控柜、液压站、油管、线缆等应分类编号、明确标识，有序布置，同时应配备电

箱、灭火器等设备。

9.3.4 轴力自动补偿系统进场时，各设备机具的备用数量不应低于实际高峰使用数量的5%。

9.3.5 轴力自动补偿钢支撑系统进场后应进行设备调试，并应符合下列要求：

1 中央控制中心、电控柜和液压站布置就位，连接好电缆和通讯线路后，应检查中央控制中心 PC 系统、打印机、信号传输、电控系统、液压站等是否正常；

2 应检查油路是否有破损或渗漏油现象，检查线缆是否有破损，接口是否正常；

3 轴力自动补偿钢支撑吊装到位后，应调试系统加压、保压、降压、自动补偿、电磁阀切换、手动加载、自动加载、数据传输、机械锁等项目。

9.3.6 轴力自动补偿钢支撑拼接和安拆除设计要求外，尚应符合下列要求：

1 钢支撑自动补偿端应与固定端连接，钢支撑另一端应为活络头。若分段安装，则不宜使用活络头。

2 钢支撑拼接宜在地面进行。受条件限制需在坑内拼装时，应首先拼接带补偿钢支撑头的支撑节段，再拼接剩余分段。

3 钢支撑应设置可靠的防脱落装置。

4 未设置预埋钢板、钢围檩的地下连续墙宜设置后置钢板，并将搁架或牛腿焊在后置钢板上，对撑应直接顶在后置钢板上，角撑应将两端的斜支座焊接在后置钢板上。

5 土方开挖、钢支撑架设应快速。对于无钢围檩的基坑，一单元段从土方开挖、预埋板凿除、钢支撑对撑安装到完成预加轴力的时间不宜超过 20h。土方开挖完成后，预埋板凿除、钢支撑对撑安装到完成预加轴力的时间不宜超过 10h。

9.3.7 钢支撑吊装到位后应及时预加设计轴力，并应符合下列要求：

1 应根据设计要求在中央控制中心电脑上设置每根钢支撑的预加设计轴力、自动补偿上限值、下限值等，并将预加轴力上限值设置为液压泵站的上限值。

2 每根钢支撑首次轴力加载宜采用一次性加载方式。如有钢围檩，也可采用分级加载的方式，具体加载方法可根据现场实际情况确定。

3 钢支撑施加轴力过程中，当出现钢支撑弯曲、焊缝开裂、异常响声等异常情况时应暂停加压或及时卸除压力，查明原因并采取适当措施后方可继续施加压力。轴力施加完成后需对所有的螺栓进行复紧。

4 轴力施加到设计值后应锁住机械锁，机械锁与千斤顶间预留宜为 5mm。机械锁螺杆段宜裹上保鲜膜或添加护套，防止机械锁被现场泥土、混凝土等污染。

9.3.8 轴力补偿钢支撑系统卸载和拆除应符合下列规定：

1 当基坑面积较大或长度较长时，宜采用分区卸载与拆除。轴力卸载宜按照从基坑中部向两端方向进行的平面拆除顺序。

2 单根钢支撑拆除时，应先用吊车吊住钢支撑，再拧松退回机械锁。

3 支撑拆除施工过程中应加强基坑围护及周边环境的监测，一旦发现变形较大或未拆支撑轴力过大，应立即与设计单位商讨采取应对措施。

9.3.9 支撑轴力超过监测警戒值的情况及时通报各相关单位。

9.3.10 轴力自动补偿系统设备机具进场验收应符合以下规定：

1 应具有主要设备的出厂合格证书，如液压泵站、千斤顶等。

2 设备进场前，应委托具有资质的第三方单位对液压千斤顶进行检测，并出具具有相应法律效力的检测报告。

3 设备进场验收项目包括设备型号、数量、产品合格证、第三方检测报告、外观质量、初步功能等，检查后填写附录 F《钢支撑轴力自动补偿系统进场检查记录表》。

4 在轴力自动补偿系统正式使用前，按照第 9.2.12 条进行现场调试验收，检查后填写附录 G《钢支撑轴力自动补偿系统安装调试质量验收表》，合格后方可正式使用。

9.3.11 轴力补偿系统钢支撑吊装完成后，对钢支撑轴线位置、与围护结构垂直度、与牛腿连接等进行验收，验收要求尚应符合钢支撑施工的相关规范。

9.3.12 设备专业单位在轴力自动补偿系统使用过程中应进行每日巡检，并填报施工过程巡检记录表，详见附录 H《钢支撑轴力自动补偿系统运行过程巡检记录表》。

9.3.13 设备专业单位应通过中央控制中心输出钢支撑轴力日报表，打印后每日上报。

9.3.14 钢支撑预加设计轴力后，需根据基坑本体、周边环境以及周边设施的监测数据调整轴力，应符合下列规定：

1 基坑本体、周边环境、支撑轴力等监测数据对比分析应每天不少于 1 次，如发生基坑或周边设施变形过大或支撑轴力异常，应加密监测和分析频率。

2 以基坑变形和周边设施变形控制指标为主要控制目标。当围护水平变形日变量尚未稳定，围护体水平变形对应支撑位置日变量大于 1mm-2mm（具体控制值由设计单位根据项目情况确定），或累计变形过大，或周边设施变形不稳定或过大等，则需要调整钢支撑轴力。

3 当钢支撑轴力需要调整，超出设计轴力，应上报设计单位，由设计单位明确轴力调整参数，以及轴力施加上限，并与施工单位一起确定下一步施工方案。

4 钢支撑增减轴力应采用分级加载，每次调整轴力不应超过 200kN，轴力调整完成后 6 小时后应由监测单位测量围护体变形。如变形收敛则停止加载，若继续快速增大，则立即进行下一级加载。

5 当钢支撑轴力不断加大，围护出现向坑外位移，导致首道或下方的混凝土支撑产生受拉等现象时，应适当减小钢支撑轴力值。

6 严禁钢支撑轴力超过钢支撑极限承载力，如接近钢支撑极限承载力且围护体变形较大时，应立即停止基坑开挖作业，与设计及其他参建方商讨并采取相应的措施。

7 如需调整钢支撑轴力设计值，由施工单位牵头填写附录 I《轴力自动补偿系统钢支撑轴力动态调整申请表》。

9.3.15 建设单位应督促各参建单位密切关注支撑轴力、基坑及周边环境变形等监测数据。如需调整钢支撑轴力设计值，由施工单位牵头填写附录 H《轴力自动补偿系统钢支撑轴力动态调整申请表》。

10 基坑地下水抽灌一体化绿色技术

10.1 一般规定

10.1.1 符合下列条件之一时，应采用深基坑工程抽灌一体化技术：

- 1 受保护建（构）筑物区域目的含水层水位降深超过设计控制值；
- 2 深基坑降水影响超过区域地下水资源均衡的控制要求；
- 3 深基坑降水影响超过区域性泉脉、地面沉降等生态保护控制的要求。

10.1.2 地下水抽灌一体化设计及运行控制应遵循以下原则：

- 1 基坑内地下水水位降深应满足设计降深要求；
- 2 基坑周边地下水水位降深不应超过预警值；
- 3 基坑周边由于降水引起的地面沉降不应超过预警值；
- 4 受保护建（构）筑区域和地下水保护区域的地下水水位抬升不宜超过初始水位值；
- 5 受保护建（构）筑区域的由于地下水水位抬升造成地面沉降回弹值不宜超过初始值；
- 6 地下水资源保护区域的人工干扰的地下水单元补径排达到动态平衡状态。

10.1.3 地下水抽灌一体化工程应符合以下要求：

- 1 进行围护与降水一体化设计，确定合理的围护结构深度、水平隔水层和降水管井结构；
- 2 综合考虑场地范围工程地质条件确定合理的水文地质概念模型和计算方法；
- 3 场区的排水系统进行专项设计应考虑市政管网的排水能力、水处理装置的处理能力和市政管网的供水能力。
- 4 场区的供电系统进行专项设计，并考虑应急双电源和自动切换系统。

10.1.4 地下水抽灌一体化工程设计应结合地区经验、环境和水文地质条件等进行地下水控制预分析和设计，当缺少经验，在地下水资源和环境的重要保护区域，应开展地下水抽灌一体化现场试验评价抽灌一体化的适宜性，并确定具体的设计参数。

10.1.5 地下水抽灌一体化应满足水量、水质和抽灌时间、空间的要求。

10.2 勘察与设计

10.2.1 基坑地下水抽灌一体化设计前应完成以下工作内容：

- 1 掌握场区工程地质、水文地质及围护结构初步设计资料；

- 2 根据受保护建（构）筑物结构形式与基础类型确定沉降控制要求；
- 3 明确基坑内外地下水水位降深控制要求；
- 4 明确水文地质单元内地下水均衡的要求。

10.2.3 地下水抽灌一体化工程设计前应进行地下水控制预分析，预分析内容宜包括下列内容：

- 1 确定孔隙、裂隙和岩溶介质中的地下水对基坑工程的危害；
- 2 基坑地下水控制宜综合考虑基坑围护与降水一体化分析；
- 3 基坑地下水控制宜考虑基坑降水与回灌一体化；
- 4 抽水和回灌分别确定目的含水层；
- 5 调研生态环境对地下水资源和环境的保护要求。

10.2.4 现场抽水试验应符合下列要求：

1 应根据基坑工程性质、工程地质与水文地质特征和场地环境条件等因素确定试验工作量；

2 试验抽水井的布置要根据试验目的满足单井抽水试验和群井抽水试验的需要；

3 试验阶段现场应布设水位观测井（孔）观测实验效果，具体布置应根据试验目的和计算公式的要求确定，并符合下列要求：

- 1) 以抽水孔为原点，宜布置1~2条观测线；
 - 2) 布置1条观测线时，宜垂直地下水流向布置；布置2条观测线时，宜分别垂直和平行地下水流向布置；
 - 3) 同一地层中每条观测线上的观测孔不宜少于2个；
 - 4) 当多层含水层对基坑有突涌破坏作用时应进行分层抽水试验；
 - 5) 当采用数值法分析场地水文地质条件时，宜进行大流量、大降深的群孔抽水试验；
 - 6) 抽水试验期间，应同步观测抽水孔和观测孔、周边地表水位，应掌握初始水位及其变化规律对抽水试验的影响；
 - 7) 抽水试验时，应防止抽出的水在抽水影响范围内回渗到含水层中；
 - 8) 同组试验中，应采用同一工具和方法观测水位、沉降和流量；
 - 9) 水质分析水样宜在抽水试验结束前采集；
 - 10) 抽水试验停止后，应测量抽水孔与观测孔的恢复水位；
- 4 抽水试验按照地下水运动要素是否随时间变化，分为稳定流和非稳定流抽水试验；
- 5 当基岩裂隙水或岩溶水对基坑有破坏作用时应根据裂隙、岩溶发育规律及裂隙水、岩

溶水特征进行试验。

10.2.5 回灌试验应符合下列要求：

1 回灌井的布置，应根据勘察目的与项目等级、工程性质、水文地质条件、环境保护要求等因素确定；

2 试验阶段现场应布设水位观测井（孔），其布置应符合下列要求：

1）以回灌井为原点布置1条观测线，宜垂直地下水流向布置；

2）沿观测线布置的观测孔不宜少于3个；

3）观测孔与回灌井的距离，应根据试验场地的水文地质条件确定。最近观测孔与回灌井的间距及外围观测孔之间的间距均不宜大于5m；

3 当需对多层含水层作分层回灌时，应进行分层回灌试验；

4 回灌试验前及回灌抽水试验中，应同步测量回灌井、观测孔、周边水文地质点的自然水位、动水位；当自然水位的日动态变化较大，应掌握其变化规律对回灌试验的影响；

5 回灌试验停止后，应测量回灌井与观测孔的恢复水位。

10.2.6 需查明地下水回灌对周边环境的影响时，宜进行群孔回灌试验。

10.2.7 群孔回灌试验应符合下列要求：

1 群孔回灌试验的回灌孔数量与深度、总回灌量及延续时间宜根据勘察目的、工程性质、场地水文地质条件及环境条件确定；

2 群孔回灌试验时，应对勘察区内及勘察区周边水文地质点、地表水体进行同步观测；

3 群孔回灌试验宜采用抽灌一体化试验。

10.2.8 建设场地的地下水抽灌一体化适宜性评价应满足下列要求：

1 评价范围包括受地下水控制影响到的区域；

2 根据现场勘察成果、区域地质资料及已有岩土工程勘察资料，分析场地及周边地区含水层（组）的岩性、水平与竖向分布规律，明确含水层类型及埋藏条件；

3 评价内容是建设场地内受地下水控制影响范围内各层地下水动态，地表水与地下水之间、各含水层的性质及含水层之间的水力联系特征及其对地下水控制设计与施工的影响；

4 分析评价建设工程的地下水控制风险源，提出风险控制的建议措施；

5 根据现场试验成果、地下水渗流数值分析结果，分析含水层水文地质参数取值的可靠性；

6 根据工程性质、场地水文地质条件，分析拟建工程的抗承压水突涌安全性，分析评价场地地下伏各含水层地下水对工程设计与施工的影响；

7 提出地下水回灌措施建议时,根据地下水水样筒分析结果,提出地下水抽灌一体化的水质控制要求及水质处理的建议;

8 根据水文地质试验的水位恢复曲线,明确工程降排水的允许断电持续时间,提出预防断电、保证连续降排水、保证排水能力的建议措施;

9 提出控制降水井施工质量的建议措施;

10 提出截水帷幕质量缺陷引发渗漏、流砂等事故时,应急抢险的建议措施。

10.2.9 降水设计应综合考虑场地范围工程地质条件,结合当地的经验确立合理的水文地质概念模型和计算方法,进行围护与降水一体化设计,满足基坑抗突涌、抗渗流等的要求,并进一步确定合理的围护结构深度和降水井结构。

10.2.10 基坑涌水量及降水井数量的设计计算宜按现行国家行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111、《管井技术规范》GB 50296 和山东省工程建设标准《工程建设地下控制技术标准》DB37/T5059 的相关规定执行。

10.2.11 采用深基坑降水与回灌一体化技术进行降水井数量设计和降深预测,宜采用有限元或有限差分数值方法计算,应充分考虑地下水补给的影响。单井出水量、单井回灌量及渗透系数采用现场试验的结果。

10.2.12 回灌设计应包括下列内容:

- 1 回灌井位置和数量;
- 2 回灌方法
- 3 井结构及管路系统设计;
- 4 排水要求;
- 5 封井设计;
- 6 基坑抽灌一体化运维时的承压水位控制;
- 7 基坑外回灌对基坑突涌稳定影响计算分析。

10.2.13 回灌井平面布设应综合考虑受保护建(构)筑物的位置、基础形式与结构类型、回灌目的含水层水位控制要求、回灌目的含水层的空间分布和相应水文地质参数、截水帷幕及抽水井的空间布设、场地限制与现场施工条件的影响,按照现行标准《管井技术规范》GB 50296 和《建筑基坑工程技术规程》JGJ 120 执行,并遵循以下原则:

1 回灌井宜布置在靠近保护区一侧,回灌井与受保护建(构)筑物、基坑边界的距离应根据计算确定;

2 回灌井与降水井间距不宜小于 6m;

3 回灌井与受保护区域距离不宜小于 3m;

4 回灌井与帷幕距离不宜小于 3m。

5 回灌井的间距宜根据工程类比经验和现场试验结果确定，同时宜设置不少于 30%的备用回灌井。

10.2.14 地下水回灌方法宜选择压力回灌；回灌工艺可采用分级加压回灌，并考虑回扬要求，回扬过程中应考虑抽灌一体化，保护区水位须保证不因回扬而下降。

10.2.15 基坑内降压井和回灌井截水结构加强，降压井和回灌井止水部分可采用优质粘土球，上部宜采用压密注浆方法止水。

10.2.16 宜采取止水措施将岩质基坑内孔隙水与裂隙水、岩溶水隔开。

10.2.17 回灌井的设计回灌压力 P 按式 (10.2.20-1) 计算：

$$P = 0.01 \left(\frac{K_0 \gamma_s}{F_t \gamma_w} - 1 \right) h_2 \quad (10.2.17-1)$$

式中：

P —— 设计回灌压力，单位为 MPa；

H_{saf} —— 设计回灌压力水头，单位为 m；见图 10.2.17，为回灌水头标高与地面标高的差值 h 的最大安全设计取值。

K_0 —— 静止土压力系数；

γ_s —— 粘土球分隔层底至地面间各分隔层的平均加权重度，单位为 kN/m³；

F_t —— 回灌设计安全系数；可取 1~1.2，渗透系数大的取较小值；

γ_w —— 水的重度，单位为 kN/m³，取 10 kN/m³；

h_2 —— 粘土球分隔层底至地面间分隔层的厚度，单位为 m；

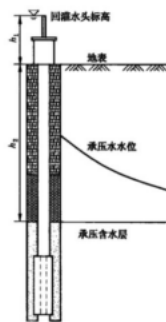


图 10.2.17 回灌井的计算模型示意图

10.2.18 采用基坑降水和回灌一体化技术时，监测设计包括下列内容：

- 1 回灌区域观测井的设计；
- 2 降水区域观测井的设计；
- 3 回灌与降水之间区域的观测井数量及布置；
- 4 水位、孔隙水压力、地面及建筑物沉降和土体分层沉降等的监测方法；
- 5 基坑抽灌一体化运维期间的监测要求。

10.2.19 除基坑本体的周围环境监测的内容外，尚宜在受保护建（构）筑物区域布设土体分层沉降监测点，地表沉降及周边环境沉降的监测点，监测方法宜采用几何水准或液体静力水准测量等方法。

10.2.20 在受保护建（构）筑物区域应布设独立的水位观测井或孔隙水压力观测孔，数量应根据受保护建（构）筑物的尺寸确定，每个区域应不少于1口井（孔）。水位观测应优先采用观测井，当施工条件受限时可选用孔隙水压力观测孔，观测井（孔）应设置止水封闭层，避免目的含水层与其他含水层连通。孔隙水压力量测采用振弦式或电阻式孔隙水压力计，且应满足下列要求：

- 1 量程应满足被测压力范围的要求，其上限可取静水压力的1.2倍；
- 2 孔隙水压力计可采用钻孔埋设法，埋设前应将孔隙水压力计浸泡饱和，排除透水石中的气泡，观测段内应回填透水填料，再用膨润土球或注浆封孔；
- 3 当在1个孔内埋设多个孔隙水压力计时，弱透水层中的上下两个孔隙水压力计之间应有高度不小于2m的隔水填料分隔。

10.2.21 降水运行前应进行现场降水验证，相关技术要求应按照《管井技术规范》GB 50296的规定执行，并根据试验结果修正降水设计参数、优化设计方案。

10.2.22 降水运行控制宜采用变频抽水装置或回流装置控制各降水井的出水量及地下水的降深，回灌运行控制宜设置回灌量调节装置控制回灌井的回灌量和回灌区的水位抬升。

10.2.23 运行管路设计宜包括抽水井至水质处理系统管路设计，水质处理系统至回灌井管路设计，水质处理系统的反冲管路设计，回灌井的回扬管路设计，各部分管路设计应根据流量合理设计管路尺寸及检测装置。

10.2.24 当采用降水井抽出的地下水或再生回灌时，回灌水质各项指标应不低于目的含水层水质，同时水质应达到《城市污水再生利用-地下水回灌水质》GB/T19772的规定。采用降水井抽出的地下水进行回灌时，现场配置的水质处理器不宜少于2套，当只有1套时，应配置自来水回灌供给点和管路。地下水水质处理器设计应符合《室外排水设计规范》GB50014的规定，同时应明确经过处理后的水的各项指标控制值和最大的处理能力。

10.2.25 在各降水工况条件下，基坑内回灌含水层地下水位应满足各开挖工况的地下水位控制要求，环境保护区内回灌含水层地下水位应满足环境保护地下水位控制要求。水位控制检验坑内外所有观测井；定时测定地下水水位及孔隙水压力。

10.3 施工及检验

10.3.1 井管、过滤器宜选用新型绿色环保管材；过滤滤料宜选用新型绿色环保滤料。

10.3.2 降水井、观测井和回灌井钻进成孔时，泥浆密度在钻进成孔阶段正循环时不宜大于 1.15 g/cm^3 ；终孔后清孔阶段宜为 $1.08\sim 1.10\text{ g/cm}^3$ ；当井管设置后且滤料围填前宜为 $1.05\sim 1.07\text{ g/cm}^3$ 。

10.3.3 井管安装施工要求在过滤器上下部应安装一组扶正器，井点施工完成后，井口应加装井盖等有效保护措施。

10.3.3 井壁外注浆时间宜安排在成井结束1周后，回灌井施工结束至开始回灌，回灌井休止期应不少于14天。各类井施工完成后应进行试抽水试验，检验井的成井质量和出水效果。

10.3.4 降水井、回灌井和观测井应根据过滤器类型、地层条件和现场实际，选用空压机与活塞交替洗井，先进行空压机抽水，当采用桥式过滤器时，可再进行活塞洗井，当活塞拉出的水清澈后，换用空压机抽水洗井，清除管底淤积。降压井和回灌井洗井施工时，活塞全程提拉次数应不少于40次，持续时间应不少于4h，并至井内泛水变清；空压机洗井应清除沉淀管中的沉渣。

10.3.5 回灌井休止期过后，应进行降水与回灌一体化系统施工调试。

10.3.6 一体化设计施工运维控制应与基坑工程施工工况相适应，进行施工质量控制动态管理，在正式运维前应进行运维调试，各阶段均应进行环境监测。

10.3.7 一体化系统施工运维应满足控制指标要求：在基坑内安全水位达到的前提下，对保护区水位控制达标，对水质控制达标，实现坑内安全水位和基坑环境变形监控达标控制，运维期间应监控地下水降深、单井出水量、受保护建（构）筑物区域的目标含水层水位、单井回灌量和环境变形等数据并进行详细记录，一体化设备应有明显的防护标识。

10.3.8 施工现场应配置合理的用电保障以满足抽灌一体化运维的需求，应配置双电源系统。降水与回灌管路及相关设备应安排专人 24 小时巡视。

10.3.9 当地下结构抗浮稳定性满足设计要求时，方可停止抽水和回灌；当因降水引起的环境变形仍在持续时，可适当延长回灌时间，直至环境变形趋于稳定。

10.3.10 工程结束后，应对不再利用的井进行封井处理。封井应按设计要求进行。

10.3.11 基坑地下水抽灌一体化工程应满足《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 中相关降水与排水、回灌分项工程的相关验收要求。基坑地下水抽灌一体化设计和施工等资料应作为竣工资料进行归档。

10.3.14 降水井、观测井和回灌井钻进成孔时，泥浆黏度与比重要求全数检验，检验方法：漏斗黏度计，泥浆比重计。

10.3.15 降压井和回灌井洗井施工时，洗井质量要求全数检查，检查方法：活塞密封性和泛水清浊度。

10.3.16 滤料围填的滤料柱厚度不应低于设计厚度，且滤管顶端以上料柱厚度应不小于 1.00m。滤料回填质量要求全数检验，检验方法：测绳量测料面深度。

10.3.17 滤料顶面以上应使用粘土球封填，封填应连续密实，粘性土回填质量要求全数检验，检验方法：搓条法检验粘土球土性；封填耗用粘土球的体积不小于设计值的 95%。

10.3.18 回灌井单井回灌量要求全数检验；回灌井单井回灌量不宜小于单井设计回灌量的 70%。

10.3.19 回灌水质应不污染地下水，回灌启动前应有回灌含水层及回灌水源的水质分析报告。水质检验要求回灌含水层取水样 1 组，回灌水源水样 1 组；作水质分析试验。

11 基坑工程自动化监测

11.1 一般规定

11.1.1 基坑监测工作应从基坑工程施工前开始，直至地下工程完成为止，并应贯穿支护体系自安装、使用、拆除和回收的全过程。对有特殊要求的基坑周边环境的监测应根据需要延续至变形趋于稳定后结束。

11.1.2 采用绿色支护体系的基坑工程宜实施自动化监测，建设单位应委托相应能力的监测单位开展自动化监测工作。

11.1.3 实施自动化监测的基坑工程，施工前应进行自动化监测系统设计，编制自动化监测方案。

11.1.4 自动化监测系统宜包含监测仪器设备、数据自动采集系统、数据传输系统、数据存储管理系统及实时发布系统等。

11.1.5 自动化监测系统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。

11.1.6 监测自动化系统应保持良好的工况，并定期采用人工测量设备对自动化设备进行校核，发现异常情况应分析原因，并及时修读。

11.1.7 自动化监测方案应根据基坑工程设计方案、建设场地的岩土工程条件、周边环境条件、施工方案等因素编制，监测结果应满足精度和监测期限的要求，保证监测结果的可靠性。监测单位应严格执行并精心组织实施监测方案。

11.1.8 自动化监测方案除应包括《建筑基坑工程监测技术标准》GB50497-2019 中 3.0.7 条的规定外，还应包括：

- 1 实施自动化监测的项目、监测点数量、监测仪器的布设方案以及监测仪器现场保护方案。
- 2 自动化监测仪器的技术指标、要求及设备选型。
- 3 数据采集装置的布设、通讯方式及网络结构设计。
- 4 自动化数据采集频率及数据发布方式。
- 5 独立于自动化系统之外的人工比测方案。
- 6 自动化监测系统供电电源及其防护方案。
- 7 防雷设计。

11.1.9 自动化监测仪器设备在满足准确度要求的前提下，力求结构简单、稳定可靠、维护方便，监测仪器设备的精度和量程应满足工程需要，其类型、规格宜尽量统一，以降低系统维护的复杂性。

11.1.10 自动化监测项目应根据基坑工程安全等级、环境保护要求、场地工程地质与水文地质条件、基坑支护形式、施工工艺等因素综合确定。

11.1.11 监测初始值应在相关施工工序之前测定，应在自动化监测系统经过调试且运行稳定后进行，初始数据的采集应与人工采集同期，人工采集次数不少于 3 次，自动化监测以同期的稳定数据作为初始值。

11.1.12 数据处理和实时发布系统应能实现实时共享，具有数据查询、图形数据展示、报警状态显示等功能。

11.1.13 各相关参建方应通过远程监控系统及时掌握监测数据，参与预警、报警反馈与处理，施工单位应及时响应警情，并根据预警等级采取相应措施。

11.1.14 自动化监测实施期间，建设方及施工方应协助监测单位做好监测设施、设备的保护工作，必要时设置专用保护装置。

11.1.15 自动化监测系统应定期检查、维护，保证系统正常运行。

11.1.16 基坑开挖过程中应根据监测数据进行信息化施工，及时对施工方案进行调整。

11.1.17 当监测数据超过预警值时，应及时通报有关部门。

11.1.18 信息化施工技术的实施应完成由监测资料的送达、监测数据的分析和决策、施工工况的判断以及施工计划的调整等过程，做到动态施工、动态设计。

11.1.19 自动化监测项目应与基坑工程设计、施工方案相匹配；应针对监测对象的关键部位进行重点观测；各监测项目的选择应利于形成互为补充、验证的监测体系。

11.2 监测点布设

11.2.1 实施自动化监测的项目，对应的监测点布设要求应不低于《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 的要求。

11.2.2 基坑工程自动化监测点的布置应能反映监测对象的实际状态及其变化趋势，监测点应布置在内力及变形关键特征点上，并应满足监控要求。

11.2.3 基坑工程自动化监测点的布置应不妨碍监测对象的正常工作，并应减少对施工作业的不利影响。

11.2.4 监测标志应稳固、明显、结构合理，监测点的位置应避开障碍物，便于自动化设备观测、采集和传输数据。

11.2.5 自动化监测测点装置宜安装防盗、防碰撞保护装置，并应方便检查与维护。

11.2.6 基坑各侧边中部、阳角处、邻近被保护对象的部位应布置监测点，加强监测。

11.2.7 基坑边缘以外 1~3 倍基坑开挖深度范围内需要保护的周边环境应作为监测对象，必要时应扩大监测范围。

11.2.8 基坑工程自动化监测应根据具体项目的安全等级、变形监测类型、精度要求和现场

作业条件来选择相应的方法及设备参数，并可组合使用多种监测方法。

11.2.9 变形监测网的基准点、工作基点的布设及测量要求应按照现行有关标准规定要求执行。

11.2.10 系统采用的供电线缆、网络介质应正确连接；系统供电、通信线缆敷设应综合考虑现场施工条件，并采取保护措施。

11.3 传感器与数据采集和传输

11.3.1 监测传感器应满足下列要求：

1 观测精度和量程等技术指标应满足相应的国家或行业标准的要求；

2 应是经过长期运行考验的成熟的产品，容易维护、可靠性高、稳定性好，并能在基坑工程施工过程中正常工作；

3 输入输出信号标准应开放，带通信接口的传感器宜采用 USB 等通用型接口类型，通信协议应开放或提供软件接口；

4 应经过校准或标定，且校核记录和标定资料齐全，并应在规定的校准有效期内使用。

11.3.2 自动化监测的传感器元件埋设应规范，埋设完成后应测试其初始成活率。对于不成活或数据明显异常的传感器，应及时更换或重新埋设。

11.3.3 受温度影响明显的传感器，应具备温度矫正芯片和具有温度矫正功能。

11.3.4 监测过程中应定期进行监测仪器、设备的维护保养、检测以及监测传感器和元件的检查。

11.3.5 采集系统设备测量范围应符合各类监测仪器的要求。

11.3.6 数据采集装置应满足下列要求：

1 具有电源管理、电池供电和掉电保护功能，蓄电池供电时间应不少于 3d；

2 具有选测、按设定时间自动巡测和暂存数据功能；

3 基坑监测各项的技术指标应满足相应的国家或行业标准的要求；

4 应具有支持人工测量的功能及装置，实现在不影响自动化监测系统稳定运行条件下进行人工采集，尽量避免中断采集、通信及供电等系统的物理连接。

11.3.7 自动化监测系统应具有广泛的兼容性，便于模块化的升级和横向扩展，并保持整体构架的稳定性。

11.3.8 自动化监测系统的安装、调试及验收应按工程设计文件进行，过程中应对设计变更、调试及验收等进行记录。

11.3.9 系统应具备数据通信功能，包括数据采集装置与监测管理站计算机之间的双向数据通信，以及监测管理站与系统外部的网络计算机之间的双向数据通信。并具有人工监测数据录入功能，实现对人工监测数据的处理。

11.3.10 监测系统应具备数据实时发布和定时发布的功能,并能进行系统运行状态的判别和预警功能:

1 具有对设备、电源、通信等硬件的工作状态进行自动监控和诊断,对异常状态自动预警的功能;

2 具有自动检验监测结果是否超过预警值,并进行预警的功能。

11.3.11 数据传输应满足下列要求:

1 现场网络介质可以有或无线形式,当采用有线传输时,应通过 USB 和以太网口等接口进行传输。当有线传输为光纤传输时,应配备光电转换器件,可采用以太网无源光网络或吉比特无源光网络等接口进行传输;当采用无线传输时,可采用公用无线广域网和专用无线局域通信网两种方式。

2 网络通信速率宜综合考虑构建现场网络的通信方式、现场的网络环境状况等因素,以通信稳定可靠为原则选定。

11.3.12 系统运行前应制定运行管理制度,系统运行时应制定并填写运行过程记录。

11.3.13 自动化监测系统应定期进行检查和测试,系统维护应符合下列要求:

1 每日应进行 1 次系统通信测试;

2 每周应进行系统运行日志整理;

3 每月应检查数据库使用情况,并应对硬盘进行扩充;

4 每半年应对系统功能进行检查、检验;

5 每日应向现场终端发送命令采集监测信息;

6 应填写系统检查测试记录。

11.4 自动化监测方法及要求

11.4.1 水平位移监测包括围护结构顶部、周边建筑、周边管线的水平位移观测。

11.4.2 基坑水平位移自动化监测设备可选用自动化全站仪、激光位移计等进行量测。

11.4.3 水平位移基准点的数量不应少于 3 个,基准点标志的型式和埋设应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。工作基点宜设置为具有强制对中装置的观测墩。

11.4.4 全站仪监测系统应符合下列要求:

1 全站仪自动化监测系统宜有自动剔除粗差、漏点补测、超限重测的功能;

2 采用多测站全站仪变形观测时,相邻测站应有 3 个以上重叠的观测。

11.4.5 采用测距仪进行基坑水平位移监测时,应注意测距仪及接收标靶的安装稳定性,并注意调整视线方向。

11.4.6 竖向位移监测包括围护墙(边坡)顶部、立柱、周边地表、建筑、管线、道路的竖向位移观测。

11.4.7 竖向位移自动化监测可采用自动化全站仪三角高程或静力水准等进行量测。

11.4.8 竖向位移基准点、工作基点的布设和测量应符合下列规定：

1 基准点的数量不应少于 3 个，基准点之间应形成闭合环；基准点标志的型式和埋设应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定；在冻土地区，基准点标石应埋设在当地冻土线以下 0.5m，在基岩壁或稳固的建筑上可埋设墙上水准标志。

2 密集建筑区内，基准点与待测建筑的距离应大于该建筑基础最大深度的 2 倍。基准点可选择在沉降影响区以外稳定的建（构）筑物结构上。

3 可根据作业需要设置工作基点，工作基点与基准点之间应便于联测。

11.4.9 采用液体静力水准测量方法进行自动化监测时，应严格规范安装，并注意以下要点：

1 应排空管内空气，基准点的选点应避开较大干扰源（振动、大型机械）；

2 应在 0° 以下寒冷环境下，对连通管液体加注防冻液；

3 安装前进行测量放线，同一条路线中的基准点及监测点设备液面高差应小于设备量程的 1/2。

11.4.10 深层水平位移可采用阵列式位移计、光纤、光栅、固定式测斜仪、绞盘式自动测斜仪等实现自动化监测。

11.4.11 深层水平位移计算时，应确定起算点。当以管口作为深层水平位移的起算点时，每次监测均应测定管口坐标变化并修正。

11.4.12 采用固定式测斜仪实现自动化监测时，监测探头布置需完整覆盖整条测斜管，监测数据能够反映监测深度范围内管形变化要求。

11.4.13 深层水平位移监测点宜在地表处制作专用保护装置加以保护及固定，更换、检查等工作导致测斜传感器位置发生变化时，应重新校正。

11.4.14 建筑倾斜监测精度应符合国家现行标准《工程测量标准》GB 50026 及《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

11.4.15 倾斜自动化监测可采用倾角计、智能全站仪、静力水准仪等进行量测。

11.4.16 倾角计安装应明确安装的倾斜方向，并详细记录相关属性信息数据，包括测点间距，监测对象高度等有关属性特征数据。

11.4.17 使用静力水准仪进行倾斜观测时，按《建筑变形测量规范》JGJ 8 实施。

11.4.18 裂缝监测应监测裂缝的位置、走向、长度、宽度，必要时监测裂缝深度。

11.4.19 裂缝宽度自动化监测可采用裂缝计或位移计进行量测。

11.4.20 裂缝计或位移计的最大量程应满足监测对象的变化需要。

11.4.21 支护结构内力监测包括围护墙内力、支撑轴力、立柱内力、围檩或腰梁内力监测等。

11.4.22 支护结构内力自动化监测可采用钢筋计、混凝土应变计、表面应变计等设备结合自动化采集传输模块进行量测。

11.4.23 锚杆和土钉的内力自动化监测可采用测力计、钢筋计、应变计或锚索计等设备结合

自动化采集传输模块进行量测。

11.4.24 型钢支撑梁轴力监测应符合下列规定：

- 1 监测点宜布置在轴力较大或在整个支撑系统中起控制作用的支撑梁上；
- 2 每层的监测点数不宜小于该层支撑梁数目的 50%，上下各层的监测点位置在竖向上宜保持一致；
- 3 每个监测点内的监测元件数不应小于组成该榀支撑梁的单肢型钢数量的 50%且不宜少于 2 个；
- 4 监测断面应设置加压端 5m 范围外部位，并避开接头位置。

11.4.25 钢支撑宜监测支撑温度。轴力监测和温度监测应设在同一测点处，二者应同时进行数据采集。应考虑温度变化对内力监测结果的影响。

11.4.26 土压力自动化监测宜采用土压力计结合智能采集传输模块进行量测。

11.4.27 土压力计最大量程应满足监测对象的变化需要。

11.4.28 土压力计埋设后应立即进行检查测试，基坑开挖前应至少经过 1 周时间的监测并取得稳定初始值。

11.4.29 孔隙水压力自动化监测宜采用孔隙水压力计结合智能采集传输模块进行量测。

11.4.30 孔隙水压力计最大量程应满足监测对象的变化需要。

11.4.31 孔隙水压力计埋设后应测量初始值，且宜逐日量测 1 周以上并取得稳定初始值。

11.4.32 应在孔隙水压力监测的同时测量孔隙水压力计埋设位置附近的地下水位。

11.4.33 地下水位自动化监测可采用水位计结合自动化采集传输模块进行量测。

11.4.34 水位计的最大量程应满足地下水位的变化需要。

11.4.35 宜在基坑预降水前至少 1 周埋设，并逐日连续观测水位取得稳定初始值。

11.4.36 立柱沉降监测点布置在连接件处、预应力加压端处、八字撑处等受力较大的立柱上。

11.4.37 监测点数不宜小于立柱总数 5%，且不应小于 3 个。

11.4.38 采用传感器进行变形测量的监测项目应定期进行比对测量，比对测量周期应视基坑支护结构安全等级和周边环境风险等级情况确定。

11.4.39 比对测量的方法、设备、精度应满足现行规范相关要求。

11.4.40 当检查发现传感器有可能变动、监测结果异常时、重要施工节点或特殊施工方法实施时，应进行比对测量。

11.4.41 基坑工程施工和使用期内，在进行自动化监测的同时，应进行巡视检查；自动化监测系统应具有支持施工巡查记录的功能和对巡查异常情况进行预警的功能。

11.4.42 巡视检查宜以目测为主，可辅以锤、钎、量尺、放大镜等工具以及摄像、摄影等设备进行。

11.4.43 巡查过程中，应对自然条件、支护结构、施工工况、周边环境、监测设施等的巡检情况应做好记录。检查记录应及时整理，并与自动化监测仪器的监测数据进行比拟及综合分

析。

11.4.44 如巡视检查发现异常和危险情况，应及时通知建设单位、施工单位等相关单位。

11.5 监测数据处理及信息反馈

11.5.1 自动化监测系统应实现数据采集、处理、分析、查询、预警等管理功能，并具备监测数据可视化的功能。

11.5.2 自动化监测系统采集的所有原始数据应保存，并及时备份；

11.5.3 监测数据出现异常时，应分析原因，必要时应进行重测和比对测量。

11.5.4 数据处理应实现平差、降噪、变换、转换、归一等预处理功能，同时应具有对采集信息的粗差、系统误差、偶然误差进行处理的功能。

11.5.5 一旦触发报警，应立即进行加密监测，报警情况立即通知相关单位。针对不同层级、权限的相关人员，进行梯次预警、报警。

11.5.6 数据处理、成果图表及分析资料应完整、清晰，数据报表及变化曲线应自动生成，技术成果内容应满足《基坑工程监测技术规范》GB 50497 规定要求。

11.5.7 技术成果的反馈与提交宜采用信息化方式进行报送。

附录 A 坑内回填土水平反力计算

回填土的水平反力系数与回填土的形状、压实程度有关,可按(式 A.0.1~A.0.3)进行计算,土体对围护结构变形及内力的影响与三角形 ABC 和多边形 $ACDEOPF$ 的面积比有关,土体水平向反力系数取值如下:

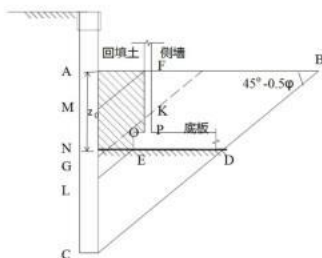


图 A.0.1 回填土水平反力系数计算简图

当 $0 \leq z_1 \leq z_0$ 时,有:

$$k = \alpha \beta m z_1 \quad (\text{A.0.1})$$

当 $z_0 \leq z_1 \leq z_L$ 时,有:

$$k = \alpha \beta m z_0 + m(z_1 - z_0) \quad (\text{A.0.2})$$

当 $z_L \leq z_1 \leq z_C$ 时,有:

$$k = m(z_1 - z_0) \quad (\text{A.0.3})$$

式中:

z_1 —— 自回填土顶面起算的计算点到回填土顶面的深度 (m);

z_0 —— 回填土的高度 (m);

m —— 地基基床系数随深度变化的比例系数;

α —— 回填土的形状系数,为计算点深度对应的滑移线以上保留的土体体积与总的土体体积之比,任意 G 点处为:

$$\alpha = 1 - \frac{S_{\Delta FKH}}{S_{\Delta AGH}} \quad (\text{A.0.4})$$

β —— 回填土松弛修正系数,可根据图纸条件、回填压实情况等结合经验在 0.5~1.0 之间确定。

附录 B 常用的型钢支撑梁技术参数

B.0.1 H 型钢标准件是采用 H 型钢按一定的长度模数切割，两端焊接端头板和加劲板，在两侧的翼缘板上和端头板上，按规则预留螺栓孔，形成便于螺栓连接的标准杆件。

B.0.2 常用的 H 型钢标准件形状和螺栓孔布置如图 B.0.2 所示，其规格尺寸参数见表 B.0.2。

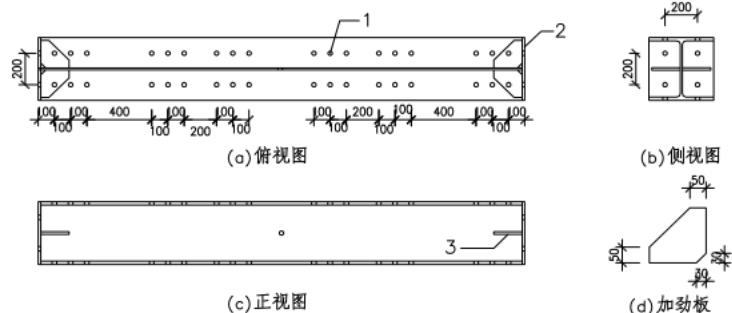


图 B.0.2 H 型钢标准件示意图

1—标准螺孔；2—端头板；3—加劲板

表 B.0.2 常用 H 型钢标准件的规格尺寸

代号	主材规格	辅材规格	构件标准模数		螺栓孔直径 (mm)	轴心受压承载力 设计值(kN)
			$0.1\text{m} \leq L \leq 1\text{m}$	$1\text{m} < L \leq 12\text{m}$		
H350-xx	H350×350×12×19	16mm 厚 钢板	50mm	1m	28	4443
H400-xx	H400×400×13×21					5758

注：1. L—构件的长度；

2. 轴心受压承载力考虑了造孔对承载截面的削弱，但不考虑造孔对轴向稳定性的影响。

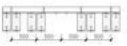
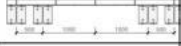
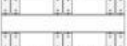
B.0.3 由 H 型钢标准件拼装而成的常用型钢支撑梁技术参数见表 B.0.3-1 及 B.0.3-2。

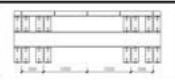
表B.0.3-1 常用的型钢支撑梁截面参数表 (H350)

编号	简图	型钢数 (肢)	截面惯性矩 I_x (cm ⁴)	截面惯性矩 I_y (cm ⁴)	截面面积 (cm ²)	回转半径 i_x (cm)	回转半径 i_y (cm)	截面模量 W_x	截面模量 W_y	建议最大长度 (m)
1		2	80600	950600	347.80	15.22	52.28	4605.71	14082.96	60
2		3	120900	3598900	521.70	15.22	83.06	6908.57	30628.94	90
3		4	161200	4508700	695.60	15.22	80.51	9211.43	38371.91	90
4		4	161200	8856200	695.60	15.22	112.84	9211.43	52872.84	120
5		4	161200	11464700	695.60	15.22	128.38	9211.43	68445.97	120
6		5	201500	11505000	869.50	15.22	115.03	11514.29	68686.57	120
7		6	1519965	7197800	1043.40	38.17	83.06	28951.71	61257.87	100
8		8	2026620	8856200	1391.20	38.17	79.79	38602.29	75371.91	100
9		8	2026620	17712400	1391.20	38.17	112.84	38602.29	105745.67	130
10		8	2026620	22929400	1391.20	38.17	128.38	38602.29	136891.94	150

11		10	2533275	23010000	1739.00	38.17	115.03	48252.86	137373.13	150
12		14	3546585	24910200	2434.60	38.17	101.15	67554.00	148717.61	150

表B.0.3-2 型钢支撑梁截面参数表 (H400)

编号	简图	型钢数 (个)	截面惯性矩 I_x (cm ⁴)	截面惯性矩 I_y (cm ⁴)	截面面积 A (cm ²)	回转半径 i_x (cm)	回转半径 i_y (cm)	截面模量 W_x	截面模量 W_y	建议最大长度 (m)
1		2	133800	1142300	439	17.46	51.01	6690.00	16318.57	60
2		3	200700	4457200	658.5	17.46	82.27	10035.00	37143.33	90
3		4	267600	5577100	878	17.46	79.70	13380.00	46475.83	90
4		4	267600	11064600	878	17.46	112.26	13380.00	65085.88	120
5		4	267600	14357100	878	17.46	127.88	13380.00	84453.53	120
6		5	334500	14379500	1097.5	17.46	114.46	16725.00	84585.29	120
7		6	2014725	8914400	1317	39.11	82.27	36631.36	74286.67	100
8		8	2686300	11154200	1756	39.11	79.70	48841.82	92951.67	100

9		8	2686300	22129200	1756	39.11	112.26	48841.82	130171.76	130
10		8	2686300	28714200	1756	39.11	127.88	48841.82	168907.06	150
11		10	3357875	28759000	2195	39.11	114.46	61052.27	169170.59	150
12		14	4701025	31043600	3073	39.11	100.51	85473.18	182609.41	150

附录 C 常用的盖板和系杆技术参数

C.0.1 盖板系采用钢板按一定的尺寸模数切割，并焊接有加劲板的标准件；板面上有规则地预留螺栓孔，

H 型钢标准件与盖板通过高强螺栓连接，常用的盖板规格尺寸见图 C.0.1~C.0.1-4。

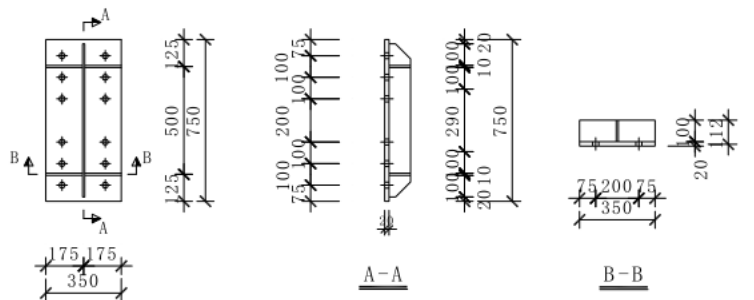


图 C.0.1-1350×750 盖板

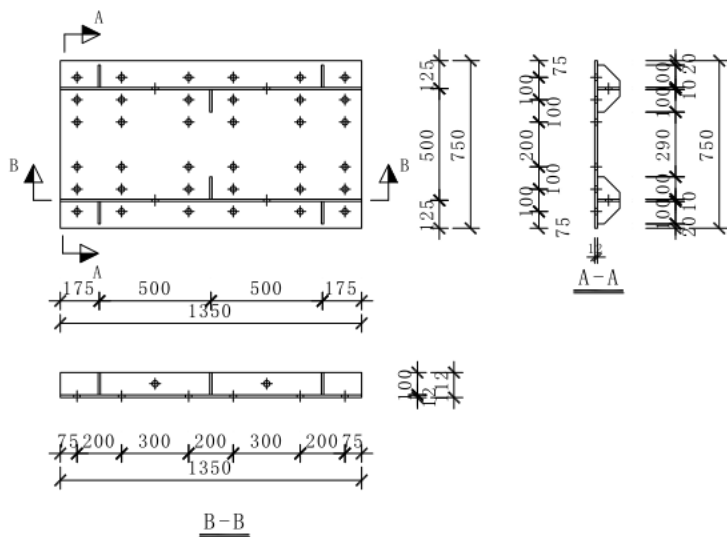


图 C.0.1-21350×750 盖板

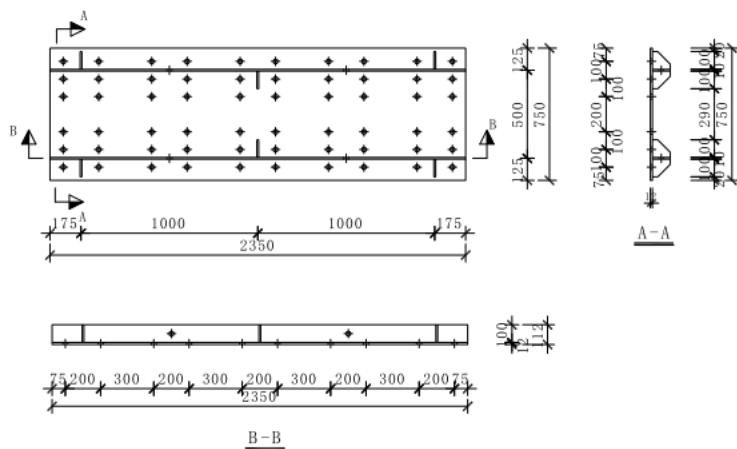


图 C. 0. 1-32350×750 盖板

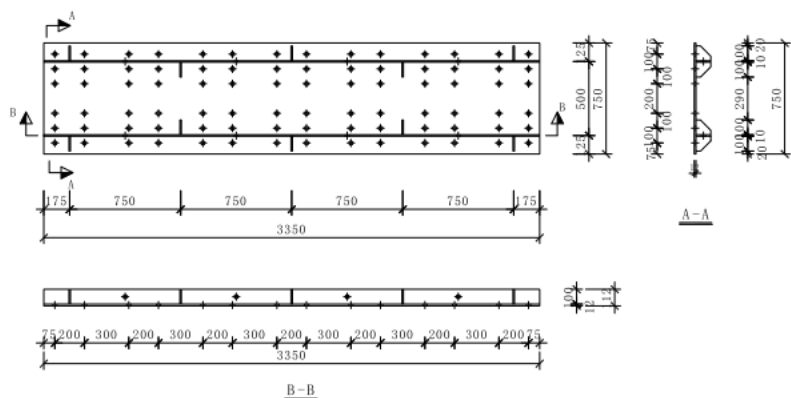


图 C. 0. 1-43350×750 盖板

C.0.2 系杆是采用槽钢（一般采用 32#a）按一定的尺寸模数切割，在腹板上有规则地预留螺栓孔，H 型钢标准件与系杆通过高强螺栓连接，螺栓孔数量宜为 4 个/m，螺栓孔布置可见图 C.0.2。

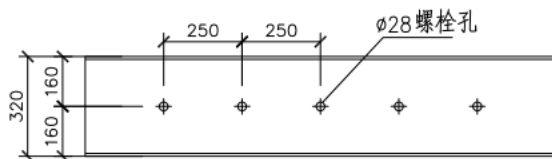


图 C.0.2 系杆螺栓孔位置图

附录 D 常用的三角传力件及预应力装置技术参数

D.0.1 三角传力件将作用于围檩上的水土压力传递到对撑、角撑中，其长边与对撑或围檩连接，直角边与角撑或八字撑连接；对撑与八字撑之间的三角传力件可参见图 D.0.1 (a)，角撑与围檩之间的三角传力件可参见图 D.0.1 (b)、图 D.0.1 (c)。

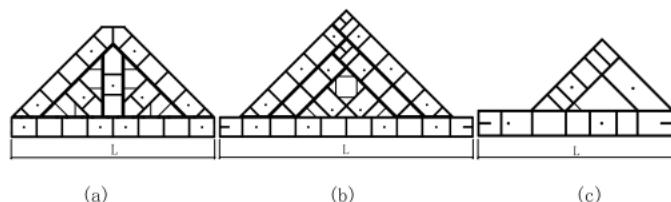


图 D.0.1 三角传力件平面示意图

表 D.0.1 常用的三角连接件规格尺寸

图示	型钢规格	标准尺寸 L (m)	安装位置	螺栓孔直径、螺 栓孔数量	连接杆件 最大数量
a	H350×350×12×	3	对撑与八字撑之间	28mm，24 孔/m	3
		4			4
b	19	3	角撑与围檩之间		2
	H400×400×13×	3.5			3
		5			5
		7			6
c		3	角撑与围檩之间		

D.0.2 常用预应力装置的加载横梁、保力盒和垫板的结构型式与标准尺寸可参见表 D.0.2。

表 D.0.2 加载横梁、保力盒、垫板的标准尺寸表

类型	标准尺寸(mm)	型钢规格	螺栓孔直径、连接螺栓数量
加载横梁	1350~3350, 增量 500;	H350	28mm,
	1400~3400, 增量 500	H400	8 孔/m/面
保力盒	250、350、500	H350、H400	28mm, 4 孔/面
垫板	厚度 20、10、5、3、1、0.5	350×350、400×400	U 型槽宽度 28mm

附录 E 型钢组合支撑安装的分项工程检验批验收表

E.0.1 型钢组合支撑安装完成之后应按表 E.0.1 的要求进行记录和验收。

表 E.0.1 型钢组合支撑安装的分项工程检验批质量验收记录

工程名称					检验批部位	
施工单位					项目经理	
监理单位					总监理工程师	
施工依据标准					分包单位负责人	
项目			质量合格标准	施工单位检验评分记录或结果	监理(建设)单位验收记录或结果	备注
主控项目	1	围檩标高和轴线				
	2	对撑或角撑两端标高				
	3	螺栓、锚栓				
一般项目	1	螺栓连接情况				
	2	托架、托座标高				
	3	相邻托座和托架高差				
	4	托座与托梁连接螺栓				
	5	围檩的对接拼装中心轴偏差				
	6	预应力施加的施工记录				
	7	对撑、角撑整体挠曲度				
	8	立柱插入深度偏差				
施工单位检验评定结果			班组长年月日 质检员：年月日			
监理(建设)单位验收结论			监理工程师： (建设单位项目技术人员) 年 月 日			

附录 G 钢支撑轴力自动补偿系统安装调试质量验收表

工程名称： 工程地点：

序号	系统	主要检查项目	是/否
1	中央监控系统	人工设定支撑轴力等技术参数。	
2		实时采集钢支撑轴力等施工过程数据。	
3		对监控数据进行自动分析处理，并操控液压动力控制系统进行实时自动补偿。	
4		实现监控数据、系统设备故障自动报警。	
5		实现监控数据及设备状态的实时监控显示，历史数据存储、查询及打印等。	
6		配备系统应急供电功能。	
7	电控柜及液压泵站	执行中央监控系统指令，自动调节支撑轴力。	
8		实现数据采集、分析并向中央监控系统实时反馈。	
9		具备设定溢流阀安全值等保障系统自身安全的风险防控功能。	
10		具有中央控制和现场手动控制模式。	
11		采用分布式布置，独立控制每个液压千斤顶。	
12		油压控制偏差不大于0.1MPa。	
13	自动补偿端	实现加载、维持或卸载钢支撑轴力，千斤顶行程不得小于150mm。	
14		配置机械锁，可有效使用。	
15		配置外套钢箱体，与千斤顶可分离。	
16		钢箱体下方三角搁架与围护体或预留钢垫箱的连接可靠牢固。	
17	其他	油管线缆等可正常使用。	
轴力补偿设备专业单位自检结论		项目负责人： 年 月 日	
施工单位检查评定结论		项目经理： 年 月 日	
监理单位验收结论		监理工程师： 年 月 日	

附录 H 钢支撑轴力自动补偿系统运行过程巡检记录表

工程名称：		日期：	
施工区域			
施工工况			
异常情况 及处理情况		1. 钢/混凝土支撑轴力异常（对工况、范围、异常情况、报警项目等进行描述）： 2. 基坑及周边环境变形异常（对工况、范围、异常情况、报警项目等进行描述）： 3. 千斤顶异常（对工况、范围、异常情况、报警项目等进行描述）： 4. 系统及设备故障（对故障情况、报警信息、处理情况等进行描述）： 5. 线路故障： 6. 外因事故： 7. 其他异常：	
轴力补偿设备 专业单位		项目负责人： 年 月 日	
施工单位		项目经理： 年 月 日	
监理单位		监理工程师： 年 月 日	

附录 I 轴力自动补偿系统钢支撑轴力动态调整申请表

工程名称			
申请单位		申请人	
申请调整内容及原因			
设备专业单位	项目负责人：日期：		
施工单位	项目经理：日期：		
设计单位	专业负责人：日期：		
监理单位	监理工程师：日期：		
建设单位	现场负责人：日期：		

注：1、本表由施工单位牵头填写申请。

2、本表签字完毕后，签字单位各留存 1 份。

3、附变更原因相关的依据。

附录 K 建筑与市政基坑工程远程监控系统检查测试记录

建筑与市政基坑工程远程监控系统检查测试记录

日期	检查类别 (日检、月检、年检)	检查测试内容	结论	操作人员

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

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《钢结构设计规范》GB 50017
- 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50013
- 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086
- 《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199
- 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
- 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
- 《地基及基础工程施工及验收规范》GB 502020
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497
- 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81
- 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 《热轧 H 型钢桩》GB/T 32285
- 《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》GB/T 11263
- 《热轧钢板桩》GB/T 20933
- 《冷弯钢板桩》GB/T 29654
- 《钢板桩》JG/T 196

山东省工程建设标准



DB37/Txxxx-xxxx

Jxxxxx-xxxx

建筑与市政工程基坑支护绿色技术标准

Technical standard for green support of building and municipal
foundation excavation engineering

条文说明

目 次

1	总 则.....	111
2	术 语.....	112
3	基本规定.....	113
4	倾斜桩支护.....	115
	4.1 一般规定.....	115
	4.2 设计.....	115
	4.4 施工与检测.....	117
5	可回收组合钢桩支护.....	118
	5.2 设计.....	118
7	可回收锚杆支护.....	120
	7.1 一般规定.....	错误！未定义书签。0
	7.2 设计.....	错误！未定义书签。0
	7.3 构造要求.....	122
	7.4 施工与检测.....	123
8	可回收组合内支撑.....	124
	8.1 一般规定.....	错误！未定义书签。
	8.2 设计.....	125
	8.3 构造要求.....	127
	8.4 施工与检测.....	128
9	钢支撑轴力自动补偿系统.....	129
	9.1 一般规定.....	129
	9.2 设计.....	130
	9.3 施工与检测.....	130
10	基坑地下水抽灌一体化绿色技术.....	132
	10.1 一般规定.....	132
	10.2 设计.....	132
	10.3 施工与检测.....	134
11	基坑工程自动化监测.....	135
	11.1 一般规定.....	135
	11.2 监测点布设.....	135
	11.3 传感器与数据采集和传输.....	135
	11.4 自动化监测方法及要求.....	136
	11.5 监测数据处理及信息反馈.....	138

1 总则

1.0.1 本条明确了指定本规范的目的和指导思想。尽管行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 较好的规范了基坑支护设计、施工与基坑开挖过程中的要求，但对可回收支护技术针对性还不够，本标准使山东省可回收基坑工程的勘察、设计、施工和监测等工作做了规范化的规定，达到技术先进、经济合理、节能环保，确保基坑的稳定及周围建筑物、道路及地下设施的安全。

可回收支护技术涉及建设单位、设计单位、施工单位和监测单位等，此外，其他相关各参与方也应遵守和执行本标准的规定。

1.0.2 本条是对本标准适用范围的界定。主要适用于山东省各类房屋建筑和市政基础设施工程中的基坑、排水管道、沟槽、地铁明挖工程支护等。对本标准未作规定的其他支护方法，可参照使用。

1.0.3 装配式和可回收基坑支护体系，符合国家可持续发展战略，符合四节一环保的发展政策，因此，在基坑支护选型时，应优先选择。

1.0.4 可回收基坑工程支护技术需遵守的标准很多，本标准只是其中之一，本标准与相关标准进行了合理的分工和衔接，执行时，尚应符合相关标准的规定。

2 术语

2.19 型钢支撑梁 type steel support beam

由型钢标准件组合而成（必要时增加非标准件），并可施加预应力的支撑梁，主要包括对撑、角撑及八字撑。

2.19 三角传力件 steel triangle parts

设置在支撑梁之间或支撑梁与围檩斜交处的连接件。

2.21 组合围檩 composite wale

由多根 H 型钢标准件或 H 型钢标准件与混凝土梁经螺栓装配而成的水平受力构件。其一侧与支护桩（墙）连接，另一侧与型钢支撑梁连接。

2.22 托梁 support beam

设置在立柱之间，支承型钢支撑梁的钢构件。

2.23 托座 bracket

设置在立柱上，用于支托托梁上的支撑构件重量和建立支撑与立柱之间连接的钢构件。

2.24 盖板 cover plate

按照一定间距平行放置的联接型钢支撑梁各肢型钢，通过螺栓与型钢翼缘连接用于增强型钢支撑梁整体性的构件。

2.25 系杆 connection piece

按照一定倾斜角放置的联接型钢支撑梁各肢，通过螺栓与型钢翼缘连接用于增强型钢支撑梁整体性的构件。

3 基本规定

3.0.2 近些年来基坑工程技术有了长足的发展,工程建设中对于环境保护、绿色节能也提出了更高的要求。针对传统支护体系存在的诸多问题,我国科技人员和工程技术人员研发了基坑工程绿色支护技术,该体系具有“可回收、低能耗、无污染”的显著优势,实现了围护桩、锚索的回收、重复利用,有效的解决上述问题,贯彻了“绿色、低碳、节能、减排”的环保理念,符合国家可持续发展战略。

倾斜桩支护方案节省水平支撑,施工无污染,节省了工期和施工用地,节约造价约 10~30%以上。组合型钢和组合钢支撑体系具有可回收,施工无污染,简便快捷,节省工期等优点,节省材料造价约 20~30%;避免了混凝土支撑拆除时产生的大量建筑垃圾。可回收锚杆减少了地下空间中长期滞留锚杆的隐形污染,减少了对后续地下工程施工的影响,同时筋材做到了回收利用,充分做到了节材、节地、环保的发展理念。地下水的抽灌一体化在节约水资源,减小降水对周边环境的影响方面具有显著的作用。

3.0.3 可回收支护体系设计之前,除应取得必要的地勘、基础设计文件等资料外,还应考虑拟采用的可回收构件的周转损耗情况,以在设计时考虑该类构件折损后的承载力损失程度。

3.0.4 可回收支护体系在选型时,应充分考虑基坑开挖深度、基坑形状与规模、支撑体系、地质条件、基坑周边环境要求、施工季节变化及支护结构使用期等因素外,还应考虑如钢板桩拔除、锚索回收等工况引起的周边环境变形,考虑周边建构筑物、管线等对变形的承受能力。锚索回收方案应经过计算确定,通过计算确定分层回填土厚度、回填土的宽度是否能满足周边环境对变形的承受能力;调研当地市场上周转支护材料的损耗程度和供应条件;考虑如倾斜桩打设设备、组合钢桩加工等市场情况,以及现场施工场地材料堆放、季节性施工的影响因素。

3.0.5 可回收支护体系应计算施工期打桩压入阻力以选择机械;回收拔除阻力以选择拔除工艺和设备;组合钢构件的节点强度应满足承载力的要求。

3.0.6 绿色支护体系除应满足基坑本体和周边环境要求外,还应尽量保证主题地下结构的施工空间,并考虑后期回收的条件要求。

3.0.7-3.0.8 基坑绿色支护设计时,应考虑周边场地的施工影响,特别是临近工程打桩振动或基坑开挖产生的相互影响,临水基坑中还应考虑潮汐和波浪的作用,并考虑地下水的腐蚀作用,采取必要的防腐措施。

3.0.9 预制构件及型钢材料宜采用标准件,采用非标准件时考虑加工、材料截面等因素,特别是钢构件,如采用标准件,应满足《钢结构设计规范》中相关的构造要求。

3.0.10 可回收材料因周转使用,材料性能会有所折损,设计时应根据周转情况,对构件的承载能力进行折减。

3.0.11 可回收支护体系的设计应包含运输、施工、使用和回收各阶段，回收要有设计方案和施工方案，明确回收方法和回收顺序。如锚索回收时，只有肥槽填土和地下室结构施工到一定程度后才可回收锚索，且如果一次性回收多道或多根，可能会使围护墙产生过大的变形，因此需要在施工方案中明确回收时的肥槽填土、地下结构施工要求以及一次回收几道锚索、一次回收几根等问题。

3.0.12 使用可回收体系的基坑工程，基坑监测应贯穿施工、使用及回收的全过程，回收期应重点观测对周边环境的影响。

4 倾斜桩支护

4.1 一般规定

4.1.1 倾斜支护桩结构,是指将竖直桩的桩底向基坑内或坑外倾斜一定角度所形成的支护结构。一般的倾斜支护桩结构,倾斜的角度不大于 30° 。在此范围内,倾斜支护桩在发挥自身斜撑作用的同时还可作为基坑的围护结构。当倾斜角度大于 30° 时,倾斜支护桩的作用以斜撑作用为主,自身挡土作用不明显,不能将其作为围护桩的一部分,结构形式逐渐向斜抛撑转变。

4.1.2 倾斜支护桩随着倾斜角度的不断增大,支护桩的桩顶水平位移和桩身侧移越小;对比相同倾斜角度的单排倾斜支护桩,斜直交替布桩方式的双排倾斜支护桩的支护效果好。当支护结构采用倾斜支护桩时冠梁应充分考虑施工偏差等控制。

倾斜桩无支撑支护结构与其他支护结构组合形成上、下部不同类型的台阶型多级组合式支护结构时,除应进行各级支护的变形与稳定分析外,还应考虑其多级支护之间相互作用,并应进行整体变形和稳定分析。

4.2 设计

4.2.1~4.2.3 挡土结构上的土压力计算比较复杂,根据不同的计算理论和假定,会得出多种土压力计算方法,其中有代表性的经典理论如朗肯土压力、库仑土压力。由于每种土压力计算方法都有各自的适用条件与局限性,难以形成共识的统一且普遍适用的土压力计算方法。

由于朗肯土压力方法的假定概念明确,能直接得出土压力的分布,受到工程设计人员的普遍认可,在计算倾斜桩组合支护结构中的竖直桩所受土压力时,本规程将继续采用。但是,由于朗肯土压力是建立在半无限土体的假定之上,在实际基坑工程中基坑的边界条件有时不符合这一假定,如基坑邻近有建筑物的地下室时,支护结构与地下室之间是有限宽度的土体;对排桩顶面低于自然地面的支护结构,是将桩顶以上土的自重化作均布荷载作用在桩顶平面上,然后再按朗肯公式计算土压力。但是当桩顶位置较低时,将桩顶以上土层的自重折算成荷载后计算的土压力会明显小于这部分土重实际产生的土压力。此外,朗肯土压力理论只适用于墙背竖直的情况下,倾斜桩的土压力计算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。但库仑方法在考虑墙

背摩擦角时计算的被动土压力偏大,因此本规程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了一致性。

4.2.4 天然形成的成层土,各土层的分布和厚度是不均匀的。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。但场地任意位置的土层标高及厚度是由岩土勘察相邻钻孔的各土层层面实测标高及通过分析土层分布趋势,在相邻勘察孔之间连线而成。即使土层计算剖面划分的再细,各土层的计算厚度还是会与实际地层存在一定差异,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。如果墙后填土有多层不同种类的水平土层时,第一层按均质计算土压力;计算第二层时,可将第一层按土重作为作用在第二层的顶面的超载,按库仑公式计算。

4.2.8~4.2.10 倾斜桩基坑支护结构分析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,适用于倾斜桩基坑支护结构。

弹性支点法的计算要求主要在以下方面需要注意:基坑面以下的土压力分布由不考虑该处的自重作用的矩形分布改为考虑土的自重作用的随深度线性增长的三角形分布。倾斜桩嵌固段两侧的土压力之和没有变化,但按朗肯土压力计算时,基坑外侧基坑面上方和下方均采用主动土压力荷载,形式上直观、计算简化。

4.2.14 基坑倾斜支护桩支护结构的桩身内力有弯矩、剪力、轴力,因此需按偏心受压、偏心受拉构件进行设计。倾斜双排桩刚架梁两端均有弯矩,在根据《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。组合式倾斜桩的冠梁受到弯、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,因此建议采用三维有限元计算确定。

4.2.16~4.2.19 对倾斜桩嵌固深度验算的规定,是绕倾斜桩底部转动的整体极限平衡,控制的倾斜桩的倾覆稳定性。相较于悬臂直桩支护的嵌固稳定性验算,倾斜桩支护进一步考虑了桩身自重绕桩底的抵抗力矩。

整体滑动稳定性验算公式(4.2.16-2)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。

为了适用于地下水位以下的圆弧滑动体,并考虑到滑弧同时穿过砂土、黏性土的计算问题,在滑弧面上,黏性土的抗剪强度指标需要采用总应力强度指标,砂土的抗剪强度指标需采用有效应力强度指标,并应考虑水压力的作用。公式(4.2.16-2)是通过将土骨架与孔隙

水一起取为隔离体进行静力平衡分析的方法，可用于滑弧同时穿过砂土、黏性土的整体稳定性验算公式。

4.4 施工与检测

4.4.3 本规程主要就倾斜支护桩施工方法做了规定。在保证施工质量的前提下，鼓励采用新工法、新工艺进行施工。倾斜支护桩组合结构施工时，竖直桩采用预制桩，一般可使用静压法或锤击法施工，也可将预制桩插入等厚度水泥地下连续墙（TRD 工法）或水泥搅拌桩墙中；支护桩支护结构设计需要设置截水帷幕时，可采用水泥土墙内插支护桩形式，水泥土墙可根据土层情况、施工对周边环境扰动程度，选用水泥土搅拌墙、旋喷水泥土复合墙、渠式切割水泥土连续墙等。对倾斜支护桩施工时，除采用预制桩外，还可使用钻孔灌注桩、型钢或搅拌桩内插型钢等施工工艺，在符合国家现行有关标准规定的同时也可使用上述支护形式。目前，静压法已成熟应用，其他支护形式已开始应用。

4.4.10 喂桩是对于预制桩而言的，指的是吊桩到设计孔位的过程。

基坑倾斜支护桩支护技术施工时，桩机下必须铺垫厚钢板（30mm），桩机应完全处在承垫钢板上，以补充地耐力不足及保持桩机稳定；桩机前后液压支撑应支于承垫钢板上，防止桩机前后俯仰，减少沉桩时斜率变化。放桩位前，先按倾斜支护桩桩顶到地面的距离及倾斜支护桩方向，计算样桩提前量，然后再放桩位。

为确保倾斜支护桩的斜率精准控制，桩架上设置导向架，并确保桩身与导向架始终处于平行的状态。倾斜支护桩施工中，下节桩最为关键，在桩尖入土 3~4m 之内，应加强斜率监控，若发生垂直度和斜率变化，应及时修正；倾斜支护桩支护接桩时，上、下节桩应在同一轴心线上。桩起吊和插桩时，桩机夹持器恢复垂直状态，方能施工。

5 可回收组合钢桩支护

5.2 设计

5.2.1 本章适用于钢板桩和型钢组合的截面，不适合钢板桩与钢管桩连接。

5.2.2 小规格 U 型钢板桩宜与小规格型号 H 型钢组合，大规格 U 型钢板桩宜与大规格型号 H 型钢组合。

5.2.3 焊接或螺栓连接对母材均有损伤，一般较难推广。非连接性的组合桩，型钢的垂直度较难把控。内置型的两种桩可不连接，因为有钢板桩凹槽作为导槽，垂直度较好控制。常用的组合内置式与外置式组合形式有：PU400X100 型（拉森 II 型）与 500 高的 H 型钢组合；PU400X125 型（拉森 III 型）与 550、600 的 H 型钢组合；PU400X170 型（拉森 IV 型）与 700、800 的 H 型钢组合。

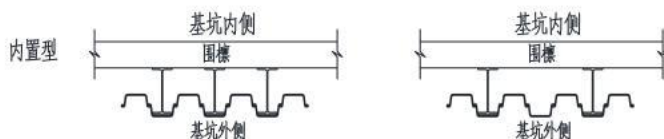


图 5.2.3-1 H 型钢与钢板桩组合内置型布置

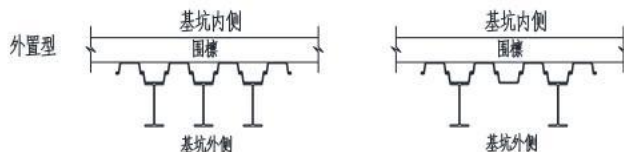


图 5.2.3-2 H 型钢与钢板桩组合外置型布置

5.2.4 钢板桩、型钢以 3m 为模数，钢管桩常见的模数是 2m。

5.2.8 单元宽度取重复组合形式的间距。

5.2.12 钢管桩与拉森桩的截面模量差距较大，超出 5.2.1 的规定，因此仅考虑钢管桩的截面模量，拉森桩考虑挡水，钢管桩间距不宜过大，应考虑土拱效应范围内设置钢板桩，一般重复单元内不超过两片钢板桩。

5.2.13 γ_1 该参数考虑了滑移效应引起非焊接型钢组合截面弹性模量减少的影响。当设有混凝土帽梁，则整体刚度较好，具体的参数值为经验值。

5.2.16 该公式参考了《钢结构设计标准》中 6.1.4 第 2 条，即对梁支座处不设置支承加劲板时，应验算腹板局部压应力。该公式适用于 H 型钢与钢板桩组合内置型布置的情况，当外置型布置，需进行背填，有混凝土和钢板两种背填。

5.2.18 此公式适合静压沉桩，振动沉桩的计算公式尚不完善，研究主要集中在钢板桩，型

钢和钢管桩的动侧阻力和端阻力研究较少。

5.2.19 此公式适合静压拔桩。

7 可回收锚杆支护

7.1 一般规定

7.1.1 可回收锚杆设计和施工是在满足《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 相关要求的基础上，增加了回收工况的设计计算和施工要求。可回收锚杆在基坑工程中主要采用压力型钢绞线锚杆；回收空间满足条件时，也可采用自钻式锚杆。

7.1.2~3 影响可回收锚杆回收的因素主要有两项：一是回收结构与施工工艺的匹配性，二是回收构件的有效性，控制好这两项因素基本可保证回收的成功率。

7.2 设计

7.2.1 可回收锚杆的回收环节，既要保证可回收锚杆的回收率，又要考虑回收工况对基坑及周围环境的变形要求，故设计应按照施工工况和回收工况中的最不利情况考虑。

压力型可回收锚杆的破坏模式比拉力型锚杆增加了锚固段底端的注浆体局压破坏；因此，可回收锚杆极限承载力主要是受锚固段的极限抗拔承载力以及锚固段底端的承压能力。

7.2.2 可回收锚杆可采用压力型或压力分散型锚杆。常用可回收锚杆类型如表 7.2.2 所示。

表7.2.2 常用可回收锚杆类型

分类条件	可回收锚杆类型
按压力型按应力分布形态	普通压力型、压力分散型
按锚固体横截面形状	等直径形、扩体形
按施工工艺	成孔注浆、高压喷射注浆、囊袋注浆扩体、机械扩体艺、自钻螺丝钉等，或多种组合工艺
按锚固体的胶结材料	水泥浆、水泥土

7.2.3 根据《囊式扩体锚杆技术标准》取原孔段长度与扩体锚固段直径之比 11 作为深埋与浅埋锚杆的分界判断，当临界长径比不小于 11 时定义为深埋扩体锚杆，小于 11 时定义为浅埋扩体锚杆。从工程角度来看，深埋扩体锚杆临界长径比不小于 11 较容易得到满足。此外，在工程设计中也应保证扩体锚固段的上覆土层厚度不小于 6m。

7.2.4 对于锚固段前端位于软土层的自由段应适当加长；扩体型锚杆扩体锚固段前端至孔口之间如存在软弱土层，扩体锚固段前端至软弱土层的距离不应小于 3m。

7.2.6 本条规定压力分散型锚杆的单元锚杆数量不宜超过 3 个，单元锚杆数量过多会影响注浆质量，从而影响承载力。单元锚杆是指在采用荷载分散型锚杆等复合锚固体系中，具有各自独立的自由段、锚固段的锚杆。

7.2.7 本条根据被锚固结构容许变形（位移）的程度对锚杆张拉后的锁定荷载作出了规定。

7.2.8 基坑侧壁与主体地下结构的预留净空间要满足锚杆拆除需求，一般不宜小于 1.0m，

具体应根据回收工艺和回收期计算确定。

7.2.9 可回收锚杆锚固段与岩土体间的抗拔安全系数采用分项系数法,由于本规程基本组合的综合分项系数采用 1.35,故规定安全等级为一级、二级、三级的基坑支护结构,其锚杆抗拔安全系数要求分别不低于 1.8、1.6、1.5。

7.2.10 等直径锚杆抗拔承载力一般只计算锚固体和岩土体的侧摩阻力,且计算方法比较成熟,本条采用《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 中锚杆抗拔承载力计算公式。

7.2.11 扩体形锚杆抗拔承载力估算方法较多,本规程计算方法参考现行行业标准《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJ/T 282。对于在软土层,可能发生扩体段前端面沿某个锥面的剪切破坏,此时普通段的界面可能不发生破坏,故在软土地层中设计时,建议不考虑普通段与岩土层之间粘结强度。

7.2.13 工作预应力筋的有效截面积是指锚杆结构受力截面积,对于不同的回收工艺需要加以区分对待,在计算时不应计入辅索钢绞线的面积。

7.2.14 目前各规范对于锚固体局部受压承载力计算方法不甚统一,但均强调应通过试验验证。本规程参照《基坑工程手册》给出计算公式,其中锚固注浆体有侧限强度提高系数主要考虑锚固段注浆体受压时侧向地层约束力的提高,无试验数据是可取 1。

7.2.15 实践表明,锚索分批次回收时,支护结构体系发生内力重分布,周边锚索内力增大,桩体弯矩、剪力和变形均发生变化,从而导致基坑的安全储备量减少。盲目回收必将导致基坑坍塌等安全性事故。虽然锚索回收时地下室结构已施工完成一部分或桩与结构墙之间已进行部分回填,但是这 2 种因素的作用如何考虑是锚杆回收阶段设计的关键。

基坑肥槽往往是为了满足外墙防水和筏板外伸的需求,其宽度往往较小,通常为有限宽度土体。回填土对支护桩的支撑作用,与回填土的宽度、地下室结构对回填土的约束条件、回填土的回填质量有关,回填土压实效果越好、回填土宽度越大,回填土对支护桩的支撑作用就越大,因此在简化土弹簧时引入回填土的形状系数和松弛系数。同时已经施工完成的地下室结构和回填土的压重作用提高了坑底以下被动区的土压力,因此在计算时可根据经验适当提高 m 值选用。

7.2.16 坑内回填土和地下室施工完成的结构荷载在整体稳定性中起到了有利作用,但因锚杆的回收,将同时使待回收锚杆对整体稳定性的贡献消失,因此,如果回填土和地下室结构重量不足以弥补锚杆对整体稳定性的消减作用,将使得整体稳定性下降,因此要对回收方案进行稳定性的计算。

7.3 构造要求

7.3.1 由于回收的要求，锚杆筋体一般要求伸出锚头 0.5m~1.0m。

7.3.2 成孔注浆型锚杆为常规技术，为确保施工质量、提高承载力，应采用两次注浆。扩体锚杆采用机械扩孔或高压喷射注浆扩孔，常出现孔内泥浆、碎屑难以清洗干净而影响承载力，可采用二次高压劈裂灌浆，也可采用后植入土工囊袋并注入水泥浆形成囊袋扩大头。

水泥土锚杆与普通锚杆相比直径大 2~4 倍，可以解决软土地区普通锚杆与土体间抗拔承载力低的问题；但同时可回收锚杆为压力型锚杆，又带来水泥土锚固体端部承载力偏低低的制约，故水泥土锚杆宜采用压力分散型锚杆，也可再进行注浆加强。

7.3.3~7.3.6 根据调查，目前基坑工程可回收锚杆技术较多，根据锚筋解锁及回收机理大致可分成 5 大类及众多小类，其中机械锁型和热熔型市场应用较多。本规程正文对应用程度较广、技术较为成熟的机械锁型、热熔型（熔解型之一）、锚筋回转型三种类型做了详细规定，其他类型可参考下文分类，宜提高回收率。

1 自解锁类：压力型锚杆。钻孔底端采用解锁装置，解锁装置指可依靠自身特定装置自行解锁后与锚筋脱离的内锚具。自解锁类锚杆可分为螺栓螺母型、机械锁型、自切断型及熔解型 4 小类。

1) 螺栓螺母型：锚杆杆体内端头为可解锁锚具，锚筋为无粘结钢筋，与自锁锚具采用螺栓螺母连接，拆筋时锚筋旋转解锁脱开，锚筋即可拉出拆除回收。螺栓螺母型锚杆工艺简单，锚杆承载力较低，其与端锚类的区别为：承载体不与围岩锚固，属于压力锚杆。

2) 机械锁型是主流：机械锁型锚杆的锚筋通过楔块、螺纹、插销等机械连接方式与解锁装置锚固，回收时锚筋通过拉拔辅索、顶进、旋转等单一或复合行为与锚固件解锁脱开。

3) 自切断型：可解锁锚具上装有超硬切刀，拆筋时张拉单根钢绞线，使刀具转动，割断钢绞线，之后钢绞线可被拉出。

4) 熔解型：可解锁锚具内装有热熔材料，拆筋时通电加热，热熔材料熔化，使无粘结钢绞线锚筋与锚具内的夹片解锁脱开，锚筋即可拉出拆除回收。溶解型在安装前和注浆后应通电检测，保证其解锁功能。

2 锚筋回转类：压力型锚杆，锚杆杆体内端头设置带有弧形槽的承载体或合页，无粘结钢绞线锚筋绕其回转 180°的可回收锚杆，拆除时解除锚头锁定夹住一端将钢绞线拉出。

3 自钻自锁类：钻杆上带有螺纹，可自行钻进地层后自锁的可回收锚杆，简称自钻类。

4 半拆筋类：拉力型锚杆。指在锚筋自由段与粘结段分界处设置螺栓螺母、熔剂盒等拆

分装置，能使自由段锚筋拆分回收的锚杆。不能回收的粘结段锚筋通常采用非金属材料。

5 强力拉拔类：把锚筋与内锚头锚固件之间的锚固力设定为介于锚杆设计承载力与锚筋极限承载力之间的可回收锚杆，简称强力拉拔类，可分为焊接型、挤压套型及砂浆型 3 小类。

上面技术主要是根据解锁回收机理划分，根据调查，各技术实际的回收率、成熟度不一。设计施工应选择技术可靠，质量稳定、安全性和回收率高的技术。各技术开发单位也应持续改进，提高技术水平、回收率和质量稳定性。

7.4 施工与检测

7.4.4 ~7.4.5 高压喷射注浆扩体锚杆采用旋喷同步植入法工艺施工时，其水泥土锚固体抗压强度基本低于 2MPa，故对于承载力设计值超过 200kN 以上的锚杆宜采用旋喷后植法，并采用加强注浆或囊袋注浆工艺。

7.4.6 可回收锚杆能否正常回收与锚杆产品、施工质量以及使用中保护密切相关。根据统计，可回收锚杆正常回收率一般可以达到 80%~95%，采取补救措施基本能达到 100%，但补救措施代价高。

7.4.9 由于基槽回填的土方质量一般不易保证，设计通常在基础底板、中楼板位置设置水平传力构件，替换锚杆的传力结构构件达到换撑要求的承载力后方可进行锚杆拆除。对于一层地下室，采用回填至锚杆标高后进行拆锚，应对回填土的质量提出要求，如采取简单回填措施，缺乏足够刚度会发生后续支护体系变形。

7.4.14 正常回收失败的锚杆进行补救回收处理时应加强地面变形监测，发现问题及时调整施工方案，避免周边道路、管线受影响。采用直接拔除法的最大拔除荷载不应超过筋体材料标准值的 0.8 倍。套管钻进法套取锚杆施工也收到施工作业面的影响，有些项目的锚杆回收标高已经不具备施工操作空间了。锚杆周边打设应力释放孔或旋喷工艺对周边土体进行软化处理后直接拔除方法是针对直接拉拔法及套管钻进套取锚杆无法完成回收锚杆的处理方法。在拉拔之前，按一定的次序在拟拔锚杆周边布置 2~4 个应力解除孔，钻孔直径 110~120mm，钻孔的深度根据锚杆的剩余抗拔力进行调整，最深钻至拟拔锚杆锚固端的尾部。采用套管跟管拔除或应力释放孔拔除的孔洞应及时进行注浆回灌填实处理同时应要求拔除一根回灌一根，避免未及时回灌造成水土流失和地面沉降。

8 可回收组合内支撑

8.1 一般规定

8.1.1 本节明确了型钢组合支撑的结构体系构成,附录 C~E 提供的各类构件的形式和技术参数,有助于对型钢组合支撑结构体系有完整的了解,推进标准化设计和施工。

8.1.2 可回收组合内支撑常用构件节点示意。

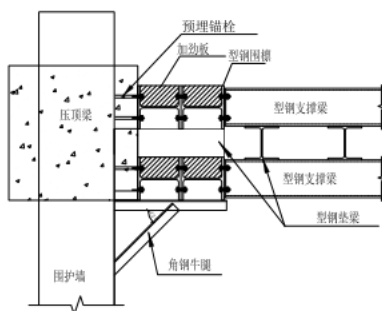


图 1 双层型钢支撑梁示意图

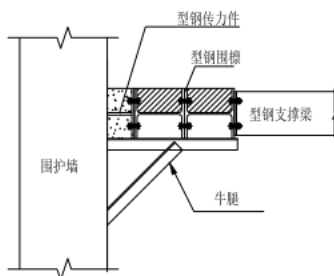


图2 型钢组合围檩示意图

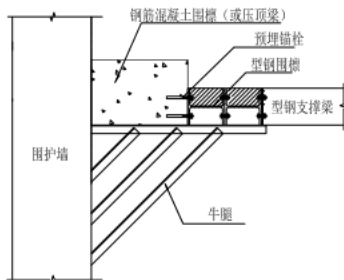


图3 型钢-混凝土组合围檩示意

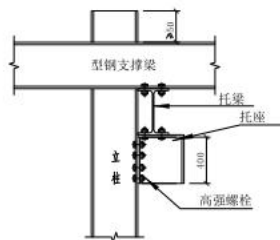


图4 型钢支撑梁与立柱连接示意

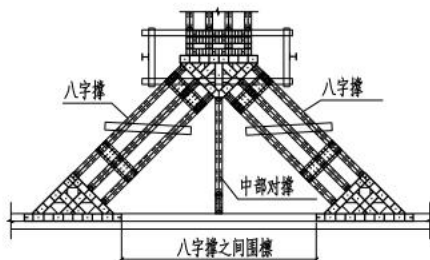


图5 八字撑示意图

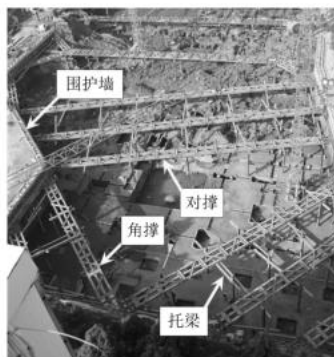


图6 某工程型钢组合支撑现场照片

8.2 设计

8.2.1 应用型钢组合支撑的基坑工程，在平面上，支撑系统相对封闭并满足支撑性能要求即

可进行土方开挖；在竖向，由于安装需要，支撑施工工况的开挖深度往往比支撑梁底标高略深一些，并考虑围檩牛腿、型钢支撑梁托座的施工空间；因此设计时应根据实际施工需要预留施工条件，确定每个工况的基坑开挖深度，施工应严格按照设计预留条件进行。

8.2.15 型钢支撑梁的预加轴力值一般根据基坑变形控制要求，由计算确定；适当地预加轴力可以改善围护墙的受力条件，有效控制基坑变形。但是根据实际工程经验，预加轴力值太小，起到的作用有限；预加轴力太大，则有可能在施加预加轴力后造成基坑周边土体破坏。因此有必要对预加轴力的大小进行限制。在进行基坑变形计算时，应考虑到型钢支撑梁预加轴力的数值限制。通过多次施加预应力功能，可以分级、分步施加预应力，也可以在型钢支撑梁变形较大、发生预应力损失时，再次补加预应力。

8.2.16 通过多次施加预应力功能，可以分级、分步施加预应力，也可以在型钢支撑梁变形较大、发生预应力损失时，再次补加预应力。

为了保证型钢支撑梁在轴向压力作用下的稳定性，宜于型钢支撑梁的上、下翼缘设置盖板及系杆，下翼缘盖板遇托梁时可取消。在型钢拼接处设置盖板也可起到加强连接的作用。

8.2.20~25 不同类型的构件应采用各自对应的计算单元，除了型钢支撑梁按照杆单元外，围檩宜按照梁单元，三角传力件可按照平板单元模拟。

围护墙内力分析应满足浙江省工程建设标准《建筑基坑工程技术规程》DB33/T1094的有关规定，宜采用平面杆系结构弹性支点法进行计算。针对型钢组合支撑的弹性支点刚度取值尚无公式直接计算，可通过对基坑围护墙位移实测值进行反分析得到，经过大量的工程实践及理论研究，型钢组合支撑的平均刚度取值范围为 $2.5\text{MN/m} \sim 3.5\text{MN/m}$ ，支撑间距较密的情况（净距小于 8m ）平均刚度可适当增加。

对弹性支点施加的预加轴力应根据基坑变形控制要求确定，同时施加预加轴力可在土方开挖前压缩支撑来减少土方开挖过程中的支撑压缩量，相当于增加了支撑刚度。

分析时应考虑基坑各部位荷载不均匀性；当基坑各边的土压力相差较大时，在简化为平面杆系时，尚应考虑基坑各边土压力的差异产生的土体被动变形的约束作用，此时，可在水平位移最小的角点设置水平约束支座，在基坑阳角处不宜设置支座。

8.2.26 立柱采用 H 型钢或格构式钢柱时，其侧向刚度较小，不能起到刚性支座的作用。为安全起见，在计算型钢支撑梁平面外稳定性时，计算长度取型钢支撑梁的实际长度，立柱及托梁的约束作用作为安全储备，由此也控制了型钢支撑梁的最大长度。

在计算型钢支撑梁平面内稳定性时，立柱与型钢支撑梁的连接节点符合铰接约束作用，因此计算长度取为托梁之间的间距。型钢组合支撑中立柱一般为单跨结构，梁柱节点一般为铰接（图 7）。立柱的计算长度可取竖向相邻水平支撑中心距，最下一层支撑应根据立柱嵌固情况、立柱桩的刚度综合考虑。

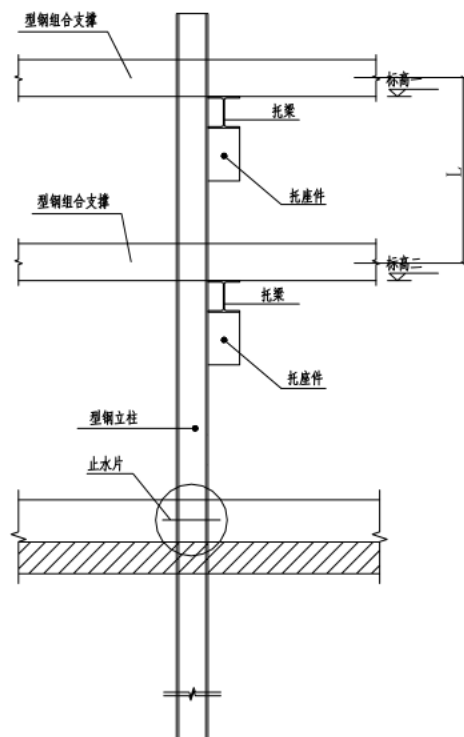


图 7 立柱示意图

8.3 构造要求

8.3.4 设置于对撑端部的八字撑增大了支撑之间的间距，方便了基坑内挖土施工。但是八字撑之间间距过大，会造成八字撑之间的围檩弯矩增大。为减少八字撑之间围檩弯矩，通常可在八字撑中部增设对撑。由于构造原因，增设的对撑为单肢型钢，强度及刚度均较为有限。因此，八字撑之间间距宜控制在 10m 以内。

8.3.11 型钢组合围檩与围护墙之间可通过设置 T 型传力件连接，T 型传力件如图 8 所示。

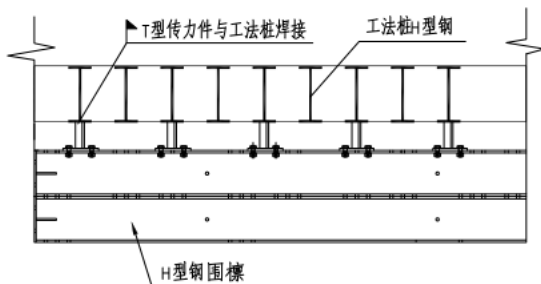


图 8 T 型传力件平面图

8.3.15 工程地质差异将导致支护结构承受的土压力不平衡。当分块安装型钢组合支撑且分块挖土时，不相等的土压力可能导致构件变形过大，高强螺栓剪断。

立柱通常采用机械手静压插入土体，不设置立柱桩，受不良地质条件和地下障碍物的影响较大。提前查明不良地质条件可及时优化立柱长度和施工工艺；立柱位置也可根据地下障碍物进行调整。

8.4 施工与检测

8.4.1~2 型钢组合支撑属于钢结构，构件根据施工详图制作。施工详图的编制应遵循等强连接的原则，不得使节点部位成为薄弱环节。

8.4.3~6 预应力施加前后，托梁和单肢型钢的相对位置会发生变化，故应在预应力施加完毕后在托梁上设置螺栓孔，再将托梁和单肢型钢用高强螺栓连接。

在型钢组合支撑安装过程，托梁挠度较大，可能导致接头断开，有项目因此发生事故，故禁止托梁设置接头。

出现非正常使用情况时必须立刻停止作业，待问题解决后方可继续施工。与混凝土支撑相比，在出现险情时，型钢组合支撑可采取的加固手段多、速度快、效果好，实际工程中可通过增设支撑、补加预应力等措施增强支撑系统整体受力性能。

8.4.13 型钢围檩侧向变形较大时，可往里面填入速凝混凝土或增加受压高度，不宜采取焊接加强。立柱变形较大时，可在相邻立柱之间设置剪刀撑。

9 钢支撑轴力自动补偿系统

9.1 一般规定

9.1.2 轴力自动补偿系统各部分相互关心如图 9.1.2 所示。

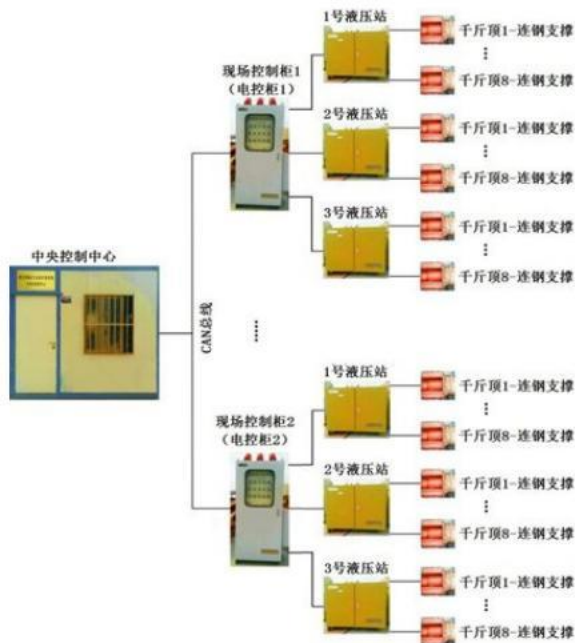


图 9.1.2 轴力自动补偿系统

9.1.3 当反馈数据低于设计轴力一定范围时，DCS 控制系统应能自动输出信号驱动油压泵系统开启工作；油压泵不断输送给钢支撑千斤顶压力；待传感器传回的数据值在一定时间内（5~10 min）稳定在设计数据之上时，DCS 系统应能自动输出信号关闭油压泵，油压泵停止工作。当反馈数据在设计数据范围之内时，一切正常，继续运行。当反馈数据高于设计数据一定范围，DCS 系统应能自动发出报警，进行降压处理。

9.2 设计

9.2.5 钢围檩与围护结构间的空隙在钢围檩安装后应立即进行填充, 总体原则要尽早达到一定的强度, 以便钢支撑安装后预加轴力。如空隙较小, 宜用高标号灌浆料进行填充。如空隙较大, 宜用 C40 以上高标号混凝土进行填充。

9.3 施工与检测

9.3.11 轴力自动补偿钢支撑系统调试:

a) 系统加压。设定好支撑预加预应力, 手动操作加压至设计预加轴力的 100%, 打开自动加载模式, 检查系统是否正常运行。

b) 保压。关闭自动补偿后观察压力是否能长时间保持。

c) 降压。采用中央控制中心远程控制和手动控制, 检查是否能降压。

d) 电磁阀切换。系统加压、减压测试过程中检查电磁阀是否正常运行, 具备自动控制作用。

e) 施加设计轴力后, 千斤顶伸出, 将机械锁拧回锁止, 检查是否有效锁止。

9.3.12 常用防脱落装置有两端上方钢筋拉结、支撑端部下方设三角搁架和牛腿、吊钢丝绳等措施。

地连墙围护如没有预埋钢板, 又不安装钢围檩, 对撑可以不设置后置钢板。将支撑直接顶在墙面上, 搁架和牛腿焊接在地墙主筋上。角撑则必须设置后置钢板, 否则, 斜支座的焊接存在问题。斜支座的焊缝长度和焊接质量必须能满足使用需要。

该条规定总体原则是希望各方密切配合, 迅速形成支撑, 减少基坑变形, 更好的保护周边环境。如有钢围檩, 则在钢围檩安装后尽快进行缝隙的填充, 填缝前先稍加一些轴力, 填缝后 24 小时内再加一些, 填缝后 48 小时内再加一些, 填缝后 72 小时内加到设计预加轴力值。加力时需观察围檩的受力和变形情况, 一旦严重变形, 需停止加力, 采取相应措施后再加力。如角撑, 需在焊接可靠后再预加轴力, 时间上需要更多一些。对于需要后置钢板的支撑, 时间上需要更多一些。

9.3.13 自动补偿上限值等于设计预加轴力+100kN, 自动补偿下限值等于设计预加轴力-100kN, 设计轴力预加后, 实际轴力值应在自动补偿上、下限值之间波动。当实际轴力值低于自动补偿下限值或高于自动补偿上限值时, 自动补偿系统开始工作, 自动调节压力值至上述范围内。预加轴力上限值为钢支撑体系的报警值, 钢支撑极限承载力应比预加轴力上限值

大 300kN 以上。

b 加载方式应根据开挖工况、设计要求和周边环境要求确定。有钢围檩，因钢围檩与围护体缝隙填充混凝土的强度提高需要时间，可根据其强度情况和钢围檩变形情况分级加载到位。

c 钢支撑弯曲严重的应及时进行更换。焊点开裂应消除应力后进行加焊。螺栓复紧是为了保证油缸和钢支撑的连接，确保安全。

d 在千斤顶活塞杆端头设有螺纹，与机械锁的内螺纹配合使用，当钢支撑安装加载完成后，将机械锁旋至与千斤顶间隔 5mm，并用紧固螺栓将机械锁锁紧，保证系统在失压时活塞杆不会回缩，以此来达到保压的效果。施工完成后锁定机械锁，可确保在系统失效等工况下支撑体系安全。

9.3.16 液压千斤顶每半年检测一次，每次进场前需确保在有效期内。

10 基坑地下水抽灌一体化绿色技术

10.1 一般规定

10.1.3 水平隔水层是近年来发展起来的水平截水帷幕工程，地下水抽灌一体化工程作为基坑围护与降水一体化设计中的地下水控制补充和应急措施。坑内留有一定的过滤器布设空间。水平隔水层可用 MJS、RJP、N-JET 等工法形成。

10.1.4 基坑地下水抽灌一体化工程应进行基坑工程地下水抽灌一体化专项设计和施工，设计和施工方案应通过技术论证后实施。

10.2 设计

10.2.4 稳定流抽水试验应符合下列要求：

a) 抽水试验时，水位下降段宜为 3 次，其中最大下降值直接近孔内的设计动水位，其余 2 次下降值宜分别为最大下降值的 1/3 和 2/3。

b) 抽水试验的稳定标准应符合下列要求：

—— 在抽水稳定延续期内，抽水孔出水量和水位的时间关系曲线只在一定范围内波动，且无持续上升或下降的趋势；

—— 最远观测孔内的水位在连续 2h 内的波动值不大于 20mm/h。

c) 抽水试验的稳定延续时间应符合下列要求：

—— 卵石、圆砾和粗砂含水层抽水试验的稳定延续时间不小于 8h；

—— 中砂、细砂和粉砂含水层抽水试验的稳定延续时间不小于 16h；

—— 粉土含水层、岩体含水层抽水试验的稳定延续时间不小于 24h。

非稳定流抽水试验应符合下列要求：

a) 抽水量稳定后，抽水孔出水量波动值不宜大于平均值的 10%；

b) 抽水试验的延续时间应按水位下降与时间关系曲线确定，并应符合下列要求：当水位下降与时间关系曲线有拐点时，延续时间宜延伸至拐点后的水平线段；当水位下降与时间关系曲线无拐点时，延续时间宜根据试验目的确定。

c) 抽水试验的抽水量和动水位观测时间，宜在抽水开始后的第 1min、2min、3min、4min、6min、8min、10min、15min、20min、25min、30min、40min、50min、60min、80min、100min、120min、150min、180min 各观测 1 次，以后每隔 60min 观测 1 次。

10.2.6 需要采取地下水回灌作为保护基坑工程周边环境的措施、保护拟建场地及周边地区

的地下水资源生态和环境工程处理污染地下水时，应进行地下水回灌试验。

10.2.7 回灌试验孔结构设计应满足下列要求：

- a) 滤料充填顶面标高与滤管顶标高之差不得小于3.00m；
- b) 黏土球封闭层的竖向厚度不得小于5.00m；
- c) 黏土球封闭层顶至地面之间的井管外侧环状空隙内，宜采用注浆或素混凝土充填。回灌试验宜进行至水位趋于稳定，稳定标准为：最远观测孔内的恢复水位在连续2h内的波动值不大于20mm/h。

10.2.8 提出地下水回灌设计时，宜包括以下内容：

- a) 分析评价地下水回灌可行性及回灌效应；
- b) 提供回灌井结构参数、回灌井间距及单井回灌量的设计建议值；
- c) 提出可采用的回灌水源及其水质要求；
- d) 提出保障地下水回灌效果的措施。

基坑地下水抽灌一体化设计内容包括：

- a) 编制说明及依据；
- b) 基坑工程概况；
- c) 工程地质与水文地质条件；
- d) 周边环境特点；
- e) 地下水控制预分析；
- f) 降水井、回灌井和观测井设计；
- g) 抽灌一体化系统设计；
- h) 抽灌一体化运维调试；
- i) 施工专项方案；
- j) 质量控制与检验；
- k) 抽灌一体化运维管理；
- l) 施工组织和施工计划；
- m) 施工质量与安全保证措施；
- n) 应急预案；
- o) 附图表等。

10.2.15 截水层应选在上下相邻含水层间的粘土隔水层处，止水段长度不得小于5m。采用优质粘土搓成直径20~30mm的风干粘土球止水。在粘土球上部回填瓜子片，并注浆至地表，

形成注浆封填段，以防止回灌期间沿井壁冒水。注浆时应防止浆液注入下部滤料层内，堵塞回灌井。

10.2.18 降水运维控制宜采用变频抽水装置或回流装置控制各降水井的出水量及地下水的降深。回灌运维控制宜根据监测数据设置回灌量调节装置控制回灌井的回灌量和回灌区的水位抬升。监测数据控制宜根据设定的地下水水位监测数据设置变化幅度区间，自动调节装置控制回灌井的回灌量和降水井的抽水量。运维管路设计宜包括抽水井至水质处理系统管路设计，水质处理系统至回灌井管路设计，水质处理系统的反冲管路设计，回灌井的回扬管路设计，各部分管路设计应根据流量合理设计管路尺寸及检测装置。当采用降水井抽汲出的地下水或再生水回灌时，回灌水质指标不低于目的含水层水质。采用降水井抽汲出的地下水进行回灌时，现场配置的水质处理器不宜少于 2 套，回灌供给点和管路。

10.3 施工与检测

10.3.1 为确保地下水不沿井壁冒水，止水段长度不得小于 5m，倡导使用掺有膨润土的粘土球止水，采用优质粘土搓成直径 20~30mm 的风干粘土球止水。在粘土球上部埋设注浆管，并注浆至地表。特别是回灌加压大的区域必须注浆封孔。为防止注浆时浆液注入下部滤料层内，进而堵塞回灌井，井壁管宜设置两道止水片。

10.3.2 井管按设计要求排列组合，下管时按标高严格控制。井管应平稳、居中入孔，在过滤器上下部应各加一组扶正器。

10.3.3 降水排出的水可以作为冲洗卫生间、行驶车辆、夏天降温、冬天升温等的水源二次甚至多次利用。井点施工完成后，加装井盖等有效保护措施避免杂物掉落、泥水流入等。

10.3.6 调试期间应记录基坑位置降水观测井水位、水质、出水量、受保护建（构）筑物区域观测井水位、回灌量、回灌压力、回扬及其它异常情况。

10.3.8 管井管路、电路等一体化设备应采用明显的防护标识，暗埋管路或管井应设置检修井。

10.3.10 降压井、回灌井和观测井可采用素混凝土封填、压密注浆封填等方法封闭。

10.3.11 基坑地下水抽灌一体化设计和施工等资料归档内容有：地质资料、基坑围护设计、基坑周边环境、抽水井回灌井观测井设计施工资料等。

11 基坑工程自动化监测

11.1 一般规定

11.1.3 对于监测点的布置原则、监测频率、监测报警指标的确定，自动化监测技术本身只改变了监测的手段，《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 中对于监测点的布置原则、监测频率、监测报警指标的确定已经有完善、详尽的要求。

11.1.4 实施自动化监测技术的工程常采用多种不同的监测传感器元件进行组网实施，并且考虑到供电及网络传输等因素，自动化监测技术实施效果与工程现场状况密不可分，为保证监测实施的质量，在自动化监测实施前，须单独编制自动化监测方案或在基坑监测方案中添加自动化监测专项内容。

11.1.6 监测方案是监测单位实施监测的重要技术依据和文件。为规范监测方案、保证质量，本条概括出了监测方案所包括的 8 个主要方面。

11.1.8 采用自动化手段建设的监测系统，由传感器元件、通信网络、数据平台组成，系统任何一个环节出了问题，都会导致数据的失真或采集不稳定，因此初始值的采集必须在自动化监测系统经过调试且运行稳定后进行，初始值的采集应满足《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 相关要求。初始值采集时应同步采集比对测量数据初始值，同时进行初始值的校验。

11.1.12 监测设施、设备的稳定可靠直接关系到监测数据的稳定性和准确性，为保证监测效果，第三方监测单位应开展监测设施、设备的保护工作。保护工作所采取的措施及装置与施工现场的施工工况密切相关，因此作为建设主体和施工主体的建设方及施工方，应协助监测单位做好保护工作。

11.2 监测点布设

11.2.1 对实施自动化监测的项目，对应的监测点布设要求应不低于《基坑工程监测技术规范》GB 50497 的要求，这是对自动化监测项目的基本要求。基坑自动化监测项目的监测要求越高，自动化监测的优势愈加明显。

11.2.6 基坑长边的中点、阳角部位、坑底为深厚软弱土层的坑底及以下位置，一般是基坑变形最大或最容易出工程事故的位置。人工监测在该位置往往监测点密度不够、监测时间或频率不规范，造成工程事故频发，因此本条文要求在上述位置加密和重点监测，用自动化监测的手段来进一步规避工程风险。

11.3 传感器与数据采集和传输

11.3.1 本条文对传感器的硬件等进行了规范，以避免因市场上传感器制造不规范、硬件不达标、软件不成熟等等因素造成的自动化监测结果失真和未有效预警。

传感器的成活率问题普遍存在，一方面试硬件质量不过硬（劣质价廉的传感器大量使

用), 另一方面现场安装不规范等问题也普遍存在, 需要对不成活的传感器或不规范的安装方式进行规范, 并要求及时更换或重新埋设异常的传感器, 才能有效建立自动化监测的健康使用环境。

11.3.7 建筑与市政基坑工程远程监控系统的兼容性是针对用户开放系统总线标准、系统数据采集单元的程控命令和数据格式, 以及接人的任何种类标准信号传感器。由于信息化技术和电子技术的发展及建筑与市政基坑工程可能的生产和管理变化, 建筑与市政基坑工程远程监控系统需要为升级改造留有一定的条件, 具备可扩展性, 但对于建筑与市政基坑远程监控系统的整体框架而言应该保持整体框架的稳定性。

11.3.12 建筑与市政基坑工程远程监控系统运行的技术文档是系统运行的第一手资料。为保证建筑与市政基坑工程远程监控系统运行历史有记录可查, 同时也为建筑与市政基坑工程安全管理责任的认定和划分提供原始数据。

11.3.13 本条规定了系统维护的主要内容和要求。为保证建筑与市政基坑工程远程监控系统的顺利运行, 需进行建筑与市政基坑工程远程监控系统的系统维护, 对于系统故障应及时排除, 保证现场数据的顺利采集, 检查系统各项功能是否完整, 性能是否到达要求等。

11.4 自动化监测方法及要求

11.4.2 可用于水平位移监测的设备及技术目前行业内有诸多尝试, 本条列举常用的智能型全站仪及测距仪两种设备。同时要声明除以上两款设备以外, 其他满足精度要求的设备及技术在满足本规范及其他相关规范要求前提下亦可使用。

11.4.3 使用激光位移计进行水平位移监测时, 基准点的稳定性直接关系到测量的准确性, 因此原则上基准点需安装在施工影响范围之外的稳固可靠位置。如果现场实施确有难度无法满足要求, 布设工作基点在基坑影响范围内时, 也应选取较为可靠稳固的位置, 并定期进行校准修正, 以保证监测数据的准确性。

11.4.4 采用智能全站仪进行基坑水平位移监测时应符合以下规定:

1 基准点的选位对于整个监测结果有直接影响, 选位应设置于施工影响范围以外, 地质条件好的位置。基准点标石(标志)的设置也应当埋设牢固, 避免碰撞。基准点在整个监测期间应保持稳定, 及时复测更新基准点坐标。

2 工作基点尽量设置观测墩, 并配置强制归心装置, 保证点位精度, 条件允许时可设置观测站房, 以便对基准点进行保护, 基准点的设置应注意通视情况, 尽量设置于视野开阔处, 尽可能同时满足对全部观测点进行直接观测。

3 水平位移观测时由于视线遮挡, 宜采用后方交会的设站方式, 观测时应同时观测至少3个监测网点。往往受制于监测现场环境, 仪器架站位置很难同时观测到3个基准点, 因此这里的监测网点可以是基准点, 也可以是工作基点。当选用监测网点有工作基点参与时, 应及时对监测网进行人工复测。

4 在水平位移观测期间, 必须随时注意仪器的整平状况, 如发现仪器倾斜, 应重新校

正仪器，再进行下一步观测。

5 安装电子气温气压计可对测量结果进行相应修正，控制系统、通信系统及不间断电源等配套设备的设置是为了尽量在监测过程中保证仪器处于相对良好的环境中进行测量，且有利于仪器的防护。

11.4.7 现有技术条件下传统几何水准测量无法进行自动化监测，采用三角高程测量竖向位移时，可采用智能型全站仪进行观测，在具备施工条件及经济允许的情况下也可以通过安装静力水准来进行量测。对于三角高程测量具体实施的技术要求，在《建筑变形测量规范》JGJ 8 中已有相应规定，实施时按照规范规定执行。

11.4.9 静力水准的使用相关技术要求在《建筑变形测量规范》JGJ 8 中已有相应规定，实施时按照规范规定执行。

11.4.10 对于墙体的测斜应优先采用固定式测斜仪。采用绞盘式自动测斜仪进行测斜时，应保证监测采集的测点位置准确无误，如发现异常情况随时赴现场维修更正，在兼顾经济的同时保证监测数据的准确性。

11.4.11 对于地质条件差的软土、沙土地区或淤泥层很深的沿海等区域，可采用测斜管口作为起算点，并通过全站仪测量管口坐标来修正测斜监测结果。

11.4.12 固定式测斜仪的探头布置应满足设计要求的测点间隔及固定间距，保证能准确的监测到测斜管不同深度的位移情况。

11.4.13 深层水平位移监测的数据包含位移、深度和方向多个属性。如果传感器的位置发生了变化，即使是同一支元器件，其对应的深度或方向属性也会发生改变，按照之前的属性数据计算会产生错误的结果，因此应重新进行校正。校正方法包括且不限于重新采集初始值等手段，以此保证监测数据的正确性和连续性。

11.4.25 由于温度变化对支护结构内力监测结果影响较大，因此要求传感器具有测温功能，可利用自动化监测软件对温度进行修正，以自动获得经修正后的正确值。

11.4.34 目前市场上具有不同类型和原理的地下水位监测设备，如接触式水位计是通过探头直接下放到地下水位面进行量测，这就需要仪器量程大于地下水位面到管口的距离；压力型水位计是通过把探头放置到地下水位中，通过设备测量的压力计算地下水位高度，首先就需要充分考虑地下水位最大沉降量，将设备放置在最低地下水位面以下，以保证在监测过程中能够正常对地下水位进行监测。

11.4.40 重要施工节点指的是基坑底板施工阶段、拆撑阶段等，特殊施工方法是指：注浆、爆破等。

11.4.45 本条文对人工巡查进行了条文规定。屡屡发生的工程事故分析发现，常规的监测项目中监测单位往往重视仪器监测，而忽视了现场巡视这一直接的工程事故排查手段，因此对除了仪器监测之外的现场巡查内容、巡查方法、巡查报告等内容进行了规范。同时要求自动

化监测项目以及自动化监测系统中,应对现场巡查的内容、方法、报告等相关功能予以支持,以利于自动化监测项目中对施工巡查的实施。

11.5 监测数据处理及信息反馈

11.5.1 作为自动化的监测系统,应包含功能完善的软件平台、数据采集系统、处理系统和展示系统,数据的采集、处理、查询和管理属于基本的功能模块,另外作为自动化系统的特点,成果的可视化是必要的功能模块。

11.5.5 监测数据出现异常时,软件平台应当有机制自动触发加密监测,该机制的触发应当是软件平台自动触发,不应是有人工干预情况下由人工触发。自动化监测系统中应具有针对不同层级、权限的相关人员,进行梯次预警的功能。预警手段包括但不限于手机短信、APP、电脑端等提醒,同时对于预警的情况,应当具有事故分析、处理、后续监测等封闭的信息处理功能。

11.5.6 国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 对基坑监测成果报表和曲线图以附表的形式制作了样表,附表内容包含完善的信息,自动化系统生成的成果报表、变化曲线图所包含的信息内容应满足国家标准的相关要求。

11.5.7 监测过程中成果资料包含当日报表、阶段性报告、总结报告、异常情况通知等,依托先进的网络平台,成果资料采用信息化方式进行报送可大大提高报送的效率和覆盖范围。