

山东省工程建设标准



DB37/T 5223 – 2022
备案号 J 16505 – 2022

装配式型钢组合结构基坑支护 技术规程

Technical specification for retaining and protection
prefabricated steel assembled structure of excavation

2022-08-26 发布

2022-10-01 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

山东省工程建设标准

装配式型钢组合结构基坑支护 技术规程

Technical specification for retaining and protection
prefabricated steel assembled structure of excavation

DB37/T 5223 - 2022

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

施行日期：2022年10月1日

中国建筑工业出版社

2022 北 京

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）要求，为规范山东省内装配式型钢组合结构基坑支护的应用，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共有 7 章及 6 个附录，内容包括 1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 设计；5. 施工；6. 质量验收；7. 监测；附录。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，山东建筑大学负责解释。为了提高本规程的质量，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至山东建筑大学土木工程学院山东省工程建设标准《装配式型钢组合结构基坑支护技术规程》管理组（地址：山东省济南市历城区凤鸣路 1000 号山东建筑大学，电话：0531-86367234 或 15066688671，电子邮箱：shaogb@sdjzu.edu.cn），以供今后修订时参考。

本 规 程 主 编 单 位：山东建筑大学

山东建筑大学工程鉴定加固研究院
有限公司

本 规 程 参 编 单 位：中铁十局集团第一工程有限公司

中铁四局集团第三建设有限公司

中建八局第二建设有限公司

山东中泉建勘岩土工程有限公司

济南城建集团有限公司

上海宏信建设发展有限公司

济南黄河路桥建设集团有限公司

山东省德鸿盈建设工程有限公司

本规程主要起草人员：邵广彪 刘国辉 许 庚 孙剑平
徐 鹏 付瑞勇 王晓光 丁建勇
朱献民 王爱军 梁汝鸣 王德军
李 江 李炳轩 鬲鹏飞 罗国勇
孔凡龙 刘曰伟 贾东风 尹贻超
张菊连 孙 伟 于东新 江宗宝
陈燕福 李 晖 聂 众 王 靓
本规程主要审查人员：盛根来 蒋世林 韩振林 黄启政
付安元 罗永现 焦方浩 赵庆亮
程海涛

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	6
4 设计	9
4.1 一般规定	9
4.2 结构类型与布置	10
4.3 结构分析	11
4.4 构件计算	11
4.5 连接及节点计算	17
4.6 构造要求	17
5 施工	20
5.1 一般规定	20
5.2 组合钢板桩	20
5.3 型钢组合支撑	23
5.4 液压伺服控制	24
5.5 构件回收	25
6 质量验收	27
6.1 进场检测	27
6.2 施工检测	29
6.3 验收	32
7 监测	33
附录 A 组合钢板桩常用技术参数	35
附录 B 常用型钢组合支撑技术参数	38

附录 C 组合结构型钢标准件构造	40
附录 D 液压伺服控制系统设置要点	46
附录 E 各项检验、验收记录表	48
附录 F 装配式型钢组合结构基坑支护监测预警值	52
本规程用词说明	53
引用标准名录	54
附：条文说明	55

1 总 则

1.0.1 为规范装配式型钢组合结构基坑支护工程的设计、施工、质量验收与监测，贯彻执行国家的技术、经济、环境保护政策，确保安全适用、技术先进、经济合理、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于山东省行政区域内一般地质条件下的各类建（构）筑物的基坑支护工程。对湿陷性黄土、膨胀土、盐渍土、液化土、淤泥质土等特殊土基坑工程，应结合当地经验应用本规程。

1.0.3 装配式型钢组合结构基坑支护工程除应符合本规程外，尚应符合国家和山东省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 组合钢板桩 assembled steel sheet pile

由 U 型钢板桩或 U 型钢板桩与钢管、H 型钢等型钢装配形成的基坑支挡结构。

2.1.2 型钢组合支撑 assembled steel support system

由 H 型钢标准件经高强度螺栓装配而成，可在端部施加预应力的单层或双层组合截面杆件支撑结构。

2.1.3 组合围檩 assembled wale

由 H 型钢标准件经高强度螺栓装配而成，连接组合钢板桩与型钢组合支撑的水平构件。

2.1.4 装配式型钢组合结构基坑支护 retaining and protection prefabricated steel assembled structure of excavation

由组合钢板桩、型钢组合支撑、组合围檩、立柱及其他辅助构件装配组成的一种基坑支护体系。

2.1.5 U 型钢板桩 U steel sheet pile

含连接锁口的 U 型钢制竖向支挡构件。

2.1.6 PLC 型组合桩 pipe and U steel sheet composite pile

由敞口钢管与 U 型钢板桩通过锁口组合而成的竖向支挡形式。

2.1.7 HLC 型组合桩 H-section steel and U steel sheet composite pile

由 H 型钢与 U 型钢板桩组合而成的竖向支挡形式。

2.1.8 三角传力构件 steel triangle parts

设置于型钢组合支撑间或型钢组合支撑与围檩斜交处，用于构件间荷载分配与传力的钢制三角形连接构件。

2.1.9 加压标准构件 prestressed standard member

设置于型钢组合支撑杆件末端辅助施加预应力的钢构件。

2.1.10 液压伺服系统 hydraulic servo system

由控制部、液压部等组成，可动态调节型钢组合支撑杆件预应力的系统。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

f_1 ——土压力荷载设计值；

$M_{p, \max}$ ——组合钢板桩计算截面的弯矩设计值；

M_{sx} 、 M_{sy} ——型钢组合支撑同一计算截面处对 x 轴 y 轴的弯矩设计值；

$M_{s, ix}$ 、 $M_{s, iy}$ ——单肢型钢计算范围内对主轴 x 和 y 的最大弯矩设计值；

N_p ——组合钢板桩计算截面的轴心压力设计值；

N_s ——组合支撑计算截面处的轴心压力设计值；

N_{ss} ——单肢型钢的轴心压力设计值；

N_t ——型钢组合支撑因温度变化产生的轴力变化量；

S ——荷载组合效应标准值；

S_b ——作用基本组合效应设计值；

S_s ——作用标准组合效应设计值；

Δt ——大气环境温度变化值 ($^{\circ}\text{C}$)。

2.2.2 材料性能和抗力

C ——支护结构水平位移、基坑周边建筑物和地面沉降的限值；

E_p ——组合钢板桩的钢材弹性模量；

E_s ——型钢组合支撑的钢材弹性模量；

f_p ——组合钢板桩钢材的强度设计值；

f_{ps} ——型钢组合支撑预应力设计值；

f_s ——型钢组合支撑钢材的强度设计值；

f_2 —— 各类构件的承载力设计值；

R_d —— 结构构件抗力设计值；

R_k —— 基坑土体抗力标准值。

2.2.3 几何参数

A_p —— 组合钢板桩计算截面的毛截面面积；

A_{pn} —— 组合钢板桩计算截面的净截面面积；

A_s —— 型钢组合支撑组合截面的毛截面面积；

A_{sn} —— 型钢组合支撑的净截面面积；

A_{ss} —— 单肢型钢的毛截面积；

A_u —— U 型钢板桩截面面积；

B_u —— U 型钢板桩截面宽度；

H_u —— U 型钢板桩截面高度；

I_{ux} —— U 型钢板桩 x 轴惯性矩；

I_{sx} 、 I_{sy} —— 型钢组合支撑 x 轴和 y 轴惯性矩；

l_{ah} —— 型钢组合支撑 H 型钢标准件长度；

l_{bl} —— 保力盒长度；

l_c —— 组合钢板桩的屈曲计算长度；

l_{cov} —— 组合盖板计算长度；

l_{pb} —— 加压标准构件长度；

l_{tri} —— 三角传力构件长边尺寸；

l_w —— 组合围檩 H 型钢标准件长度；

l_0 —— 最下层支撑中心点与桩底间两点之间距离；

t_u —— U 型钢板桩板材厚度；

$W_{np\bar{x}}$ —— 弯矩作用平面内组合钢板桩计算截面的净截面模量；

W_{nsx} 、 W_{nsy} —— 型钢组合支撑截面对 x 轴和 y 轴的净截面模量；

W_{sx} 、 W_{sy} —— 对组合截面主轴 x 和 y 的毛截面模量；

W_{ssx} 、 W_{ssy} —— 单肢型钢对主轴 x 和 y 的毛截面模量；

W_{ux} —— U 型钢板桩 x 轴截面模量；

$W_{1p\bar{x}}$ —— 在弯矩作用平面内组合钢板桩计算截面对受压

最大纤维的毛截面模量；

W_{2px} ——组合钢板桩计算截面无翼缘端毛截面模量。

2.2.4 设计参数和计算参数

K ——安全系数；

n ——型钢组合支撑型钢肢数；

α ——单肢型钢的线膨胀系数；

$\beta_{mx, p}$ ——组合钢板桩计算截面的等效弯矩系数；

γ_0 ——结构重要性系数；

δ_1 ——组合钢板桩结构整体性系数；

λ_{px} ——组合钢板桩计算截面在弯矩作用平面内长细比；

λ_{sx} 、 λ_{sy} ——型钢组合支撑对组合截面主轴 x 和 y 的长细比；

λ_{ssx} 、 λ_{ssy} ——对单肢型钢主轴 x 和 y 的长细比；

ξ ——组合钢板桩重复利用折减系数；

φ_p ——弯矩作用平面内组合钢板桩计算截面轴心受压稳定系数；

φ_{sx} 、 φ_{sy} ——对组合截面主轴 x 和 y 的轴心受压构件稳定系数；

φ_{ssx} 、 φ_{ssy} ——对单肢型钢主轴 x 和 y 的轴心受压构件稳定系数。

3 基本规定

3.0.1 装配式型钢组合结构基坑支护应根据场地工程地质和水文地质条件、基坑形状及平面尺寸、基坑开挖深度、施工条件、周边现场环境及使用期限等因素进行设计与施工，且应与基坑地下水控制及主体结构的设计施工相协调。

3.0.2 装配式型钢组合结构基坑支护应在设计文件中规定其设计工作年限，且不应小于一年。

3.0.3 装配式型钢组合结构基坑支护设计安全等级及结构重要性系数 γ_0 应按表 3.0.3 确定；同一基坑工程的不同部位，可采用不同的安全等级。

表 3.0.3 装配式型钢组合结构基坑支护安全等级及重要性系数

安全等级	γ_0	破坏后果
一级	1.1	装配式型钢组合结构基坑支护破坏、土体变形过大导致基坑周边环境及地下主体结构的施工安全受到极严重影响
二级	1.0	装配式型钢组合结构基坑支护破坏、土体变形过大导致基坑周边环境及地下主体结构的施工安全受到严重影响
三级	0.9	装配式型钢组合结构基坑支护破坏、土体变形过大导致基坑周边环境及地下主体结构的施工安全受到较小影响

3.0.4 装配式型钢组合结构基坑支护应采用极限状态设计方法，按承载能力极限状态及正常使用极限状态进行设计。

3.0.5 承载能力极限状态应包括：

1 型钢组合结构构件或连接构件的应力超过钢材屈服强度而破坏，或因变形过大无法继续承载，构件出现屈曲或局部失稳；

2 型钢组合支撑结构体系整体失稳；

- 3 组合钢板桩因坑底土体丧失嵌固能力而产生推移或倾覆；
- 4 地下水渗流引起的土体渗透破坏及承压水突涌破坏；
- 5 坑底隆起失稳。

3.0.6 正常使用极限状态应包括：

1 支护结构位移导致基坑周边环境（既有建（构）筑物、地下管线、道路等）损坏或影响其正常使用功能；

2 基坑施工降水或其他施工因素引起的土体变形导致周边环境（既有建（构）筑物、地下管线、道路等）损坏或影响其正常使用功能；

3 支护结构位移及地下水渗流影响坑内主体结构的正常施工。

3.0.7 承载能力极限状态计算应符合下列要求：

1 基坑支护构件或连接超过材料强度或过度变形的承载能力极限状态设计，应按下式计算：

$$\gamma_0 S_b \leq R_d \quad (3.0.7-1)$$

式中： S_b ——作用基本组合效应设计值；

R_d ——结构构件抗力设计值。

2 基坑坡体整体滑动、坑底隆起失稳、组合钢板桩嵌固段推移、支护结构倾覆与滑移等稳定性计算或验算，均应符合下式要求：

$$\frac{R_k}{S} \geq K \quad (3.0.7-2)$$

式中： R_k ——基坑土体抗力标准值；

S ——荷载组合效应标准值；

K ——安全系数。

3.0.8 正常使用极限状态计算应符合下列要求：

$$S_s \leq C \quad (3.0.8)$$

式中： S_s ——作用标准组合效应设计值；

C ——支护结构水平位移、基坑周边建筑物和地面沉降的限值。

3.0.9 进行土压力及水压力计算、土体的各类稳定性验算时，土的抗剪强度指标与土水压力分、合算方法应根据工程范围土的类型、地下水分布、土体应力历史等条件综合确定。

3.0.10 地下水控制方法应根据工程地质与水文地质条件、周边环境保护要求选用。地下水控制应符合现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。

3.0.11 装配式型钢组合结构基坑支护施工时应根据监测信息对原设计方案与施工过程进行动态调整，宜进行信息化施工。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

- 4.1.1** 装配式型钢组合结构基坑支护设计应包括下列内容：
- 1 结构选型及布置；
 - 2 支护结构强度和稳定性验算；
 - 3 节点及拆换撑设计；
 - 4 周边环境影响控制设计；
 - 5 质量检测；
 - 6 基坑监测要求。
- 4.1.2** 装配式型钢组合结构基坑支护设计应满足下列功能要求：
- 1 保证基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路的安全和正常使用；
 - 2 保证支护结构体系的强度和变形满足施工要求；
 - 3 保证拟建建（构）筑物地下结构的施工空间。
- 4.1.3** 装配式型钢组合结构基坑支护中的组合钢板桩与型钢组合支撑的受力性能应相互协调，构件连接应保证传力直接可靠。
- 4.1.4** 装配式型钢组合结构基坑支护采用平面分析法计算时，应按基坑设计开挖深度、地质情况、周边环境条件等因素划分不同设计剖面，分别进行构件选型并按设计工况进行计算；各类构件的承载力、变形及稳定性的计算应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定；上述计算结果可根据当地工程经验辅助判断其合理性。
- 4.1.5** 支护结构应选取下列设计工况进行验算：
- 1 基坑土方开挖至各层组合支撑施工面或坑底标高时；
 - 2 拆撑换撑施工时；
 - 3 基坑各边水平荷载不对等的各类情况。

4.1.6 装配式型钢组合结构基坑支护构件钢材选用牌号宜不低于 Q355B，且不应低于 Q235B；构件材料的性能指标应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 的有关规定。

4.2 结构类型与布置

4.2.1 组合钢板桩、型钢组合支撑及组合围檩的选型与布置应根据周边环境、地质条件及施工方式等因素确定，其型钢构件的截面规格应根据受力及构造要求初选，并经计算复核后采用；三角传力构件、立柱、托梁及托架等辅助构件的选型与布置应与所选型钢组合支撑形式相协调。

4.2.2 组合钢板桩可选用 U 型钢板桩、钢管及 H 型钢进行组合，其型钢组合方式及截面计算参数宜根据附录 A 采用。

4.2.3 组合钢板桩结构布置应符合下列原则：

- 1 平面布置应保证轴线平直整齐，避免出现不规则转角；
- 2 构件布置应具有施工可行性。

4.2.4 型钢组合支撑截面组合形式及计算参数宜参照附录 B 选取。

4.2.5 型钢组合支撑的结构布置应符合下列原则：

- 1 H 型钢标准件的规格宜根据附录 C 确定；
- 2 结构布置方案应保证传力明确、支撑杆件密度设置合理，满足施工空间要求，与主体地下结构形式及施工顺序协调，且应避开地下主体结构的承重结构；

3 型钢组合支撑应根据基坑平面形状对称平衡布置，杆系结构应整体性良好，基坑阳角两侧应同时设置型钢组合支撑形成可靠的双向约束；

4 相邻型钢组合支撑水平间距较大时，宜在杆件端设置八字斜撑杆进行端部补强，斜撑杆长度不宜超过 6m，八字斜撑杆与冠梁或组合围檩间的夹角宜取 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ；

5 采用多层支撑方案时，各层型钢组合支撑结构宜布置在同一竖向平面内，各层间净高宜取 3.0m~5.0m。

4.2.6 组合围檩宜采用单根 H 型钢标准件或采用螺栓连接翼缘的双拼 H 型钢标准件截面，H 型钢标准件规格宜根据附录 C 确定；同层组合围檩应沿基坑边线首尾连接形成封闭整体，且应与型钢组合支撑与组合钢板桩可靠连接。

4.2.7 立柱布置应避开主体结构，不同方向型钢组合支撑交汇处应设置立柱，支承同一型钢组合支撑的立柱间及组合围檩与立柱间的距离不应大于 10m。

4.3 结 构 分 析

4.3.1 进行结构分析时，组合钢板桩结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析，型钢组合支撑杆系宜按平面结构进行分析。

4.3.2 型钢组合结构基坑支护可采用空间结构分析方法进行结构的整体分析，所建立的计算模型应准确反映工程实际状态；计算结果宜与平面分析的结果对比验证。

4.3.3 支护结构的稳定性与承载力计算、竖向构件嵌固深度验算应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中的有关规定。

4.3.4 支护结构承受的土压力与水压力、土中竖向应力及附加竖向应力标准值可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定进行计算；除上述作用外，尚应考虑下列作用的影响：

- 1 基坑周边建（构）筑物、材料堆放及施工机具运行荷载；
- 2 型钢组合支撑结构自重及其上活荷载；
- 3 温差导致的构件温度应力；
- 4 立柱由于差异沉降产生的附加内力。

4.4 构 件 计 算

4.4.1 当组合钢板桩顶存在竖向荷载时，其型钢构件应按压弯构件进行设计；其他工况型钢构件可按纯弯构件进行设计。

4.4.2 PLC 型组合桩可按分离式钢管排桩进行承载力计算；HLC 型组合桩可按分离式 H 型钢排桩进行承载力计算；当有工程经验时，可适当考虑 PLC 或 HLC 型组合桩中所含 U 型钢板桩对抗力的贡献。

4.4.3 组合钢板桩按压弯构件设计时，其截面强度应按下式计算：

$$\frac{N_p}{A_{pn}} + \frac{M_{p, \max}}{\delta_1 \xi W_{npx}} \leq f_p \quad (4.4.3)$$

式中： N_p ——组合钢板桩计算截面的轴心压力设计值 (N)；

$M_{p, \max}$ ——组合钢板桩计算截面的弯矩设计值 (N·mm)；

A_{pn} ——组合钢板桩计算截面的净截面面积 (mm²)；

δ_1 ——组合钢板桩结构整体性系数，当组合钢板桩顶部设有冠梁且组合围檩整体性良好时取 $\delta_1 = 1.0$ ，其他情况取 $\delta_1 = 0.9$ ；

ξ ——组合钢板桩重复利用折减系数，组合钢板桩型钢构件状况良好时，可取 $\xi = 1.0$ ；对多次重复使用后出现损耗的组合钢板桩型钢构件，宜根据工程经验及构件的实际损耗情况取 $\xi = 0.80 \sim 0.95$ ；

W_{npx} ——弯矩作用平面内组合钢板桩计算截面的净截面模量 (mm³)；

f_p ——组合钢板桩钢材的强度设计值 (N/mm²)。

4.4.4 组合钢板桩弯矩作用平面内的稳定性应按式 (4.4.4-1) 计算；此外，对于截面形式为单轴对称截面的竖向组合构件仍应满足式 (4.4.4-2) 的要求。

$$\frac{N_p}{\varphi_p A_p} + \frac{\beta_{mx, p} M_{p, \max}}{W_{1px} (1 - 0.8 \frac{N_p}{N'_{Epx}})} \leq f_p \quad (4.4.4-1)$$

$$\left| \frac{N_p}{A_p} - \frac{\beta_{mx, p} M_{p, \max}}{W_{2px} (1 - 1.25 \frac{N_p}{N'_{Epx}})} \right| \leq f_p \quad (4.4.4-2)$$

$$N'_{\text{Epx}} = \frac{\pi^2 E_p A_p}{1.1 \lambda_{\text{px}}^2} \quad (4.4.4-3)$$

- 式中: A_p ——组合钢板桩计算截面的毛截面面积 (mm^2);
- φ_p ——弯矩作用平面内组合钢板桩计算截面轴心受压稳定系数, 按《钢结构设计标准》GB 50017 采用;
- $\beta_{\text{mx}, p}$ ——组合钢板桩计算截面的等效弯矩系数, 应根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定;
- $W_{1\text{px}}$ ——在弯矩作用平面内组合钢板桩计算截面对受压最大纤维的毛截面模量 (mm^3);
- N'_{Epx} ——计算参数 N , 按式 (4.4.4-3) 计算;
- E_p ——组合钢板桩的钢材弹性模量 (N/mm^2);
- λ_{px} ——组合钢板桩计算截面在弯矩作用平面内长细比;
- $W_{2\text{px}}$ ——组合钢板桩计算截面无翼缘端毛截面模量 (mm^3)。

4.4.5 组合钢板桩弯矩平面内的计算长度应按下列原则确定:

1 桩底嵌入硬塑以上黏土、密实砂土、风化程度低于强风化的岩层中大于 2.0m 时, 此时组合钢板桩的屈曲计算长度 l_c 可取最下层支撑中心点与桩底间两点之间距离 l_0 的 70%;

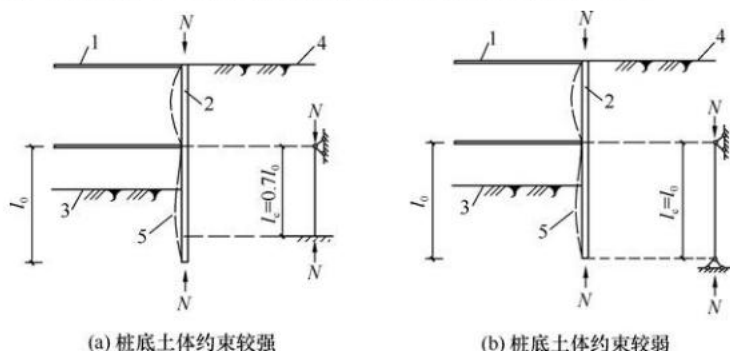


图 4.4.5 组合钢板桩压屈计算长度示意图

1—型钢组合支撑; 2—组合钢板桩; 3—基坑底部;
4—基坑坡顶; 5—构件屈曲趋势

2 桩底嵌入条件不符合上述要求时, 屈曲计算长度 $l_c = l_0$ 。

4.4.6 型钢组合支撑设计计算应符合下列规定:

1 型钢组合支撑的单肢型钢构件的强度验算应采用构件净截面参数, 稳定性、变形验算应采用毛截面参数;

2 型钢组合支撑应按压弯构件进行计算; 组合围檩与水平组合支撑杆件正交时应按受弯构件进行计算, 斜交时应按压弯或拉弯构件计算; 托梁、托架应按受弯构件进行计算; 立柱应按偏心受压构件进行计算;

3 型钢组合支撑的预加轴力取值应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定;

4 构件内力计算考虑温度变化影响时, 型钢组合支撑轴力值变化应按下式进行计算:

$$N_t = n\alpha E_s A_{ss} \Delta t \quad (4.4.6)$$

式中: N_t ——型钢组合支撑因温度变化产生的轴力变化量 (N);

n ——型钢组合支撑型钢肢数;

α ——单肢型钢的线膨胀系数 ($1/^\circ\text{C}$);

E_s ——型钢组合支撑的钢材弹性模量 (N/mm^2);

A_{ss} ——单肢型钢的毛截面积 (mm^2);

Δt ——大气环境温度变化值 ($^\circ\text{C}$)。

4.4.7 型钢组合支撑的截面强度应按下式进行计算:

$$\frac{N_s}{A_{sn}} \pm \frac{M_{sx}}{W_{nsx}} \pm \frac{M_{sy}}{W_{nsy}} \leq f_s \quad (4.4.7)$$

式中: N_s ——组合支撑计算截面处的轴心压力设计值 (N);

M_{sx} 、 M_{sy} ——型钢组合支撑同一计算截面处对主轴 x 和 y 的弯矩设计值 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

A_{sn} ——型钢组合支撑的净截面面积 (mm^2);

W_{nsx} 、 W_{nsy} ——型钢组合支撑截面对 x 轴和 y 轴的净截面模量 (mm^3);

f_s ——型钢组合支撑钢材的强度设计值 (N/mm^2)。

4.4.8 型钢组合支撑稳定性应按下列规定计算：

$$\frac{N_s}{\varphi_{sx} A_s} + \frac{M_{sx}}{W_{sx} \left(1 - 0.8 \frac{N_s}{N'_{Esx}}\right)} + \frac{M_{sy}}{W_{sy}} \leq f_s \quad (4.4.8-1)$$

$$\frac{N_s}{\varphi_{sy} A_s} + \frac{M_{sy}}{W_{sy} \left(1 - \frac{N_s}{N'_{Esy}}\right)} + \frac{M_{sx}}{W_{sx}} \leq f_s \quad (4.4.8-2)$$

$$N'_{Esx} = \frac{\pi^2 E_s A_s}{1.1 \lambda_{sx}^2} \quad (4.4.8-3)$$

$$N'_{Esy} = \frac{\pi^2 E_s A_s}{1.1 \lambda_{sy}^2} \quad (4.4.8-4)$$

式中： φ_{sx} 、 φ_{sy} ——对组合截面主轴 x 和 y 的轴心受压构件稳定系数，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定确定；

A_s ——型钢组合支撑组合截面的毛截面面积 (mm^2)；

W_{sx} 、 W_{sy} ——对组合截面主轴 x 和 y 的毛截面模量 (mm^3)；

N'_{Esx} ——参数，按式 (4.4.8-3) 计算；

N'_{Esy} ——参数，按式 (4.4.8-4) 计算；

λ_{sx} 、 λ_{sy} ——型钢组合支撑对组合截面主轴 x 和 y 的长细比，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定确定。

4.4.9 型钢组合支撑的 H 型钢单肢稳定性应按下列规定计算：

$$\frac{N_{ss}}{\varphi_{ssx} A_{ss}} + \frac{M_{s, ix}}{W_{ssx} \left(1 - \frac{N_{ss}}{N'_{Esx}}\right)} + \frac{M_{s, iy}}{W_{ssy}} \leq f_s \quad (4.4.9-1)$$

$$\frac{N_{ss}}{\varphi_{ssy} A_{ss}} + \frac{M_{s, iy}}{W_{ssy} \left(1 - 0.8 \frac{N_{ss}}{N'_{Esy}}\right)} + \frac{M_{s, ix}}{W_{ssx}} \leq f_s \quad (4.4.9-2)$$

$$N'_{\text{Essx}} = \frac{\pi^2 E_s A_{\text{ss}}}{(1.1\lambda_{\text{ssx}}^2)} \quad (4.4.9-3)$$

$$N'_{\text{Essy}} = \frac{\pi^2 E_s A_{\text{ss}}}{(1.1\lambda_{\text{ssy}}^2)} \quad (4.4.9-4)$$

式中： N_{ss} ——单肢型钢的轴心压力设计值 (N)；

$M_{s, ix}$ 、 $M_{s, iy}$ ——单肢型钢计算范围内对主轴 x 和 y 的最大弯矩设计值 (N·mm)；

N'_{Essx} 、 N'_{Essy} ——参数，按式 (4.4.9-3) 及式 (4.4.9-4) 计算；

φ_{ssx} 、 φ_{ssy} ——对单肢型钢主轴 x 和 y 的轴心受压构件稳定系数，应根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定确定；

W_{ssx} 、 W_{ssy} ——单肢型钢对主轴 x 和 y 的毛截面模量 (mm^3)；

λ_{ssx} 、 λ_{ssy} ——对单肢型钢主轴 x 和 y 的长细比，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定确定。

4.4.10 组合围檩的构件验算应符合下列规定：

1 应视计算区域的受力状态将其划分为受弯构件或压（拉）弯构件，并根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定进行承载力验算；

2 当视为压弯构件时，应计算水平弯矩作用平面外的稳定性，计算方法应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定；

3 当采用翼缘连接的双拼型钢组合围檩时，其组合截面模量及抗弯刚度宜根据其翼缘叠合面的抗剪连接情况进行适当折减。

4.4.11 立柱应按偏心受压构件进行强度和稳定性验算，立柱的计算长度应根据结构布置方案、构件及节点刚度、基坑内土质等因素综合确定。

4.4.12 立柱桩的桩顶作用效应及竖向承载力计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定，上部立柱的计算长度取值应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。

4.4.13 托梁宜按两端简支的受弯构件进行承载力及挠度验算，托梁的挠度不宜大于其计算长度的 $1/400$ 。

4.5 连接及节点计算

4.5.1 装配式型钢组合结构基坑支护中连接及节点的计算应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017 及现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

4.5.2 型钢构件宜避免采用焊接连接，当采用焊接连接时，应进行承载力验算，并明确焊接连接的材料、工艺、构造设计等要求。

4.5.3 型钢组合支撑各构件间应采用承压型高强度螺栓连接，计算时应考虑螺栓孔截面削弱对连接承载力的影响。

4.5.4 型钢组合支撑所含盖板、系杆的承载力验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定，拼接处所设盖板螺栓的剪力设计值不应小于型钢组合支撑轴力的 $1/40$ 。

4.5.5 装配式型钢组合结构基坑支护中所涉及的复杂重要节点可通过试验及数值模拟等手段验证其可靠性。

4.6 构造要求

4.6.1 装配式型钢组合结构基坑支护中各类构件截面板件的宽厚比等级应为 S3 级、S4 级；分级标准及限值应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

4.6.2 组合钢板桩的型钢原材可采取现场焊接加长，相邻型钢的焊接接头应交错配置，错开距离不宜小于 1m ，每根型钢原材接长不宜超过一次。

4.6.3 型钢组合支撑的构造应符合下列规定：

- 1 H 型钢标准件规格宜按本规程附录 C 采用；
- 2 型钢组合支撑宜减少拼接节点数量，且各型钢单肢的拼接点宜相互错开，错开长度不宜小于 1m；
- 3 H 型钢标准件拼接位置宜设置在立柱与托梁附近；
- 4 型钢组合支撑上翼缘宜设置盖板，下翼缘宜设置构造系杆，盖板与构造系杆应与各单肢型钢可靠连接。

4.6.4 型钢组合支撑采用双层组合截面时，应在上下层单肢型钢间设置型钢垫梁并相互可靠连接。

4.6.5 组合围檩的构造应符合下列规定：

- 1 组合围檩的构件规格宜按本规程附录 C 采用；
- 2 拼装节点不应设置于截面弯矩较大处；
- 3 型钢翼缘处应设置采用高强度螺栓连接的拼接板，各单肢的拼接点应错开布置，错开长度不宜小于 1m；
- 4 组合围檩转角位置应增设加劲肋；加劲肋构造应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定；
- 5 同层组合围檩应通过构造措施连接为整体；
- 6 在组合围檩转角处、型钢组合支撑与组合围檩斜交处，连接处应设置三角传力构件。

4.6.6 组合围檩与组合钢板桩的连接构造应符合下列规定：

- 1 组合围檩应采用钢支架承托或专用吊具吊装于组合钢板桩侧面设计位置处；
- 2 组合围檩与组合钢板桩间的空隙应采用灌注细石混凝土或嵌入钢垫片等方式进行密实填充；
- 3 组合钢板桩侧承托组合围檩的钢支架间距不宜大于 3m。

4.6.7 立柱构造应符合下列规定：

- 1 立柱的长细比或换算长细比应小于 25；
- 2 立柱与托座间的连接螺栓应不少于 6 组；螺栓布置的间距、边距和端距容许值应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定；

- 3 立柱与托梁间宜设置隅撑或其他加强措施；
 - 4 立柱在穿越主体结构底板范围内应设置止水措施。
- 4.6.8 立柱桩构造应符合下列规定：**
- 1 立柱锚入立柱桩内的长度不宜小于立柱边长或直径的 4 倍，且不宜小于 2m；
 - 2 立柱桩长度应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。
- 4.6.9 托梁构造应符合下列规定：**
- 1 除螺栓连接外，托梁应通过设置抱箍对型钢组合支撑的侧向与竖向形成有效约束；
 - 2 托梁应采用整根型钢进行加工；
 - 3 托梁与托座间的连接螺栓不应少于 4 组。
- 4.6.10 加压节点构造应符合下列要求：**
- 1 液压伺服系统的设置要点应符合本规程附录 D 的规定。
 - 2 预应力加载装置应设置于型钢组合支撑端部，施加预应力后，应保留预应力加载装置或设置保力盒；保力盒构造应符合本规程附录 C 的规定。
 - 3 加压节点的宽度不应小于型钢组合支撑杆件截面的宽度；加压节点与预应力加载装置及支撑端部应设置加劲板确保加压节点的翼缘稳定。

5 施 工

5.1 一 般 规 定

5.1.1 装配式型钢组合结构基坑支护所用的型钢构件、配件应根据设计图的要求，采用工厂化制作和加工，并按相关标准及设计要求进行防腐、防锈处理。

5.1.2 周边环境复杂时，施工空间应满足组合钢板桩施工设备的作业要求。

5.1.3 型钢组合支撑的施工应遵循先支撑后开挖、先换撑后拆除的原则，并应符合设计工况的要求。

5.1.4 型钢组合支撑在施加预压力前，加载设备应进行标定及预加载测试。

5.1.5 型钢组合支撑顶面不应堆载，支护结构施工不应扰动已安装完毕的型钢组合支撑。

5.1.6 装配式型钢组合结构基坑支护的构件、配件运输、吊装及存放应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 的有关规定。

5.1.7 基坑支护施工、地下水控制及土方施工应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004 的有关规定。

5.2 组合钢板桩

5.2.1 组合钢板桩不同型钢构件的沉入方式应符合下列规定：

- 1 沉入的首根型钢构件应准确定位并控制垂直度；
- 2 PLC 型组合桩应依次沉入 U 型钢板桩与钢管桩；
- 3 HLC 型组合桩应在 U 型钢板桩沉桩完成后沉入 H 型钢；
- 4 在定位和沉桩过程中，应配备桩身垂直度观测仪器，实时监测组合钢板桩构件的垂直度；施工时应及时矫正构件偏斜，

当偏斜过大无法矫正时，应拔起重打。

5.2.2 对有地下水控制要求的基坑，应确保组合钢板桩的截水效果；当组合钢板桩无法满足截水效果时，应设置其他截水措施。

5.2.3 接长组合钢板桩的型钢构件时，连接施工质量应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

5.2.4 组合钢板桩采用引孔施工时，应符合下列规定：

- 1 引孔直径应小于型钢截面长度 50mm~100mm；
- 2 引孔的垂直度偏差不应大于 0.5%；
- 3 引孔作业和沉桩作业应连续进行，间隔时间不宜大于 12h。

5.2.5 组合钢板桩宜采用振动法、冲击法和静压法进行沉桩，正式沉桩施工前应进行试沉桩验证；当采用振动法或冲击法时，宜采取隔振措施避免振动对周边环境的影响。

5.2.6 沉桩机械选型应根据地质条件、构件形式、入土深度、施工场地条件、周边环境要求等因素确定。

5.2.7 沉桩过程若突然加速、桩身出现严重倾斜、脱樨、桩体损坏等情况时，应暂停沉桩，查明原因后采取相应措施。

I 振动法沉桩

5.2.8 振动法沉桩适用于黏性土、粉土、砂土和素填土；对于硬塑和坚硬的黏性土、标准贯入试验击数大于 30 的砂土、砾石可采用引孔或高压射水等辅助措施。

5.2.9 振动沉桩应符合下列规定：

- 1 施工前宜设置隔振及隔声措施，并同时设置振动及噪声监测点；
- 2 振动沉桩前，桩身与振动机械应中心重合，防止偏心振动；
- 3 沉桩时应保持持续贯入，避免中途停机，贯入速率应根据地层情况、截面形式和当地工程经验等综合确定。

II 冲击法沉桩

5.2.10 冲击法沉桩适用于黏性土、粉土、砂土和素填土；对于硬塑和坚硬的黏性土、标准贯入试验击数大于 40 的砂土或砾石、软岩到极软岩的岩层，可采用引孔或高压射水等辅助措施；对振动和噪声影响敏感的场地，不宜使用此法。

5.2.11 桩帽及锤垫的选择应符合下列规定：

1 桩帽应与对应型钢截面匹配，宜设 5mm~10mm 帽内预留型钢外缘间隙；

2 桩帽的材料性能和耐打性应符合冲击施打的要求；

3 桩帽形心、冲击锤中心应与被沉构件截面的形心共线；

4 桩帽与冲击锤间应设置锤垫，宜选用厚度 150mm~200mm 的锤垫，沉桩前应进行检查、校正。

5.2.12 冲击沉桩施工应符合下列规定：

1 施工前宜设置隔振及隔声措施，并同时设置振动及噪声监测点；

2 沉桩时冲击锤运动轨迹应始终与型钢构件的截面形心共线；

3 冲击效应不应造成被沉型钢构件产生损伤；

4 硬黏土地层沉桩应重锤低击施打，密实砂土地层应轻锤高频施打；且应避免型钢构件底端在硬黏土或密实砂性土层中长期留滞。

III 静压法沉桩

5.2.13 静压法沉桩适用于软土、黏性土、粉土、砂土和素填土。对于硬塑和坚硬的黏性土、标准贯入试验击数大于 25 的砂土、砾石，可采用引孔或高压射水等辅助措施。

5.2.14 在以下场地进行沉桩施工时，宜采用静压法：

1 紧邻建（构）筑物或地下管线；

2 铁路、地铁周边、抢险救灾场所；

3 其他对振动和噪声影响敏感的场地。

5.2.15 静压沉桩宜选用单独压入法、水刀辅助压入法，有当地工程经验时，也可选用螺旋钻辅助或旋转切削压入法。

5.2.16 静压法施工应符合下列规定：

1 静压植桩设备选型前，应根据原位测试或当地经验估算组合钢板桩施工时各型钢构件的最大压桩阻力；当同一场地存在不同地质单元时，应分别估算压桩阻力；

2 施工时应根据监测结果合理控制型钢构件的压入速率；

3 型钢构件压入过程出现异常时，应停止施工，及时查明原因并妥善处理后方可继续施工；

4 静压施工过程应对被沉型钢构件的倾斜及时矫正。

5.3 型钢组合支撑

5.3.1 型钢组合支撑的安装施工流程应符合图 5.3.1。

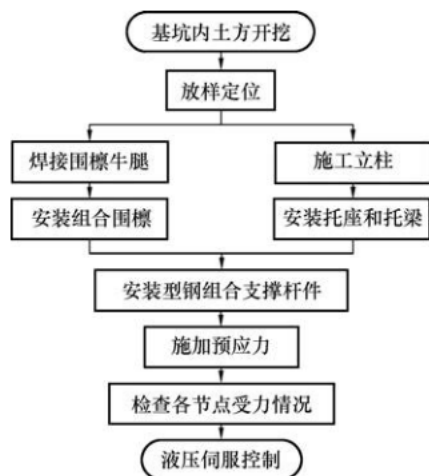


图 5.3.1 型钢组合支撑安装施工流程

5.3.2 型钢组合支撑安装完毕后及施加预应力时，应及时检查各节点的连接状况，如遇异常应立即停止施工，排除隐患后方可

继续作业。

5.3.3 组合围檩施工应符合下列规定：

1 承托组合围檩的钢支架与组合钢板桩侧面焊接前应彻底清理连接部位，钢支架应避免歪扭、虚焊，钢支架顶面标高应小于 10mm，倾角应小于 1/1000；

2 组合围檩的拼接缝隙必须紧贴、密实，接缝处应采用侧盖板加固；

3 组合围檩在与型钢组合支撑的连接处的 H 型钢标准件应增设加劲肋。

5.3.4 立柱施工应符合下列规定：

1 应采取有效措施控制立柱的定位、垂直度及转向偏差；

2 立柱需接长时，应采用焊接或螺栓连接；当采用螺栓连接时螺帽与螺栓应点焊固定；

3 立柱周围土方应均匀对称开挖。

5.3.5 托梁与托座的安装应符合下列规定：

1 安装过程应重点控制托梁与托座的标高与水平度；

2 托梁与组合型钢各单肢均应采用抱箍进行固定；

3 型钢组合支撑预压力施加前，托梁不应限制其水平位移，预压力施加完成后，托梁和型钢组合支撑应采用螺栓进行连接。

5.3.6 构件采用螺栓连接时应符合下列规定：

1 H 型钢标准件连接应采用 M24 承压型大六角头高强度螺栓；

2 螺栓安装紧固步骤应按初拧、终拧两步进行，初拧扭矩值为终拧值的 60%~80%；型钢组合支撑杆件施加预应力或土方开挖后应对螺栓进行复拧；

3 型钢组合支撑施加预应力前，盖板应通过高强度螺栓进行紧固，紧固值应为设计值的 80%。

5.4 液压伺服控制

5.4.1 液压伺服系统的工作状态应根据监测结果进行自行调整。

5.4.2 预应力加载应根据设计要求分级加压；本级加载完成10min后压力仍保持稳定可进行下级加载。

5.4.3 预应力加载至设计要求后，应对所有螺栓进行复紧并再次检查连接节点状态，必要时应对节点进行加固处理，待额定压力稳定后进行锁定。

5.4.4 型钢组合支撑端部设置八字斜撑杆时，各单肢型钢应同步均匀加压。

5.4.5 应根据支撑预应力状态受气温变化的影响，及时调整安装及加载施工方案。

5.5 构件回收

5.5.1 回收过程中应保证剩余支护结构的稳定，型钢组合支撑的回收应先换撑后拆除，并应自下而上分层进行；组合钢板桩的回收应在基坑回填完毕后进行；对大型、复杂的基坑支护宜进行回收施工仿真分析。

5.5.2 回收过程应加强基坑监测和现场巡视，发现安全隐患应立即停止作业，隐患排除后方可继续作业，必要时调整回收方案。

5.5.3 回收后的型钢构件如发生变形或损伤而影响使用功能时，再次使用前应进行修复。

5.5.4 支撑结构应分类拆除后妥善存放，回收流程应符合下列规定：

- 1 释放型钢组合支撑预应力后拆卸回收其上盖板、系杆；
- 2 根据支撑结构的布置方案，逐节回收 H 型钢标准件；
- 3 拆除与已拆除型钢组合支撑相关的组合围檩、三角传力构件、托梁、托座；
- 4 回收立柱及其他型钢构件。

5.5.5 型钢组合支撑预应力应分级释放，每级释放完成后应观测支撑状态变化及周边环境的影响，观测时间不应少于 30min，出现异常时应立即采取应急措施。

- 5.5.6** 构件连接螺栓宜采用气动扳手先行松开后人工拆除，高强度螺栓应间隔拆除。
- 5.5.7** 吊装型钢构件时，应避免碰撞仍在服役的型钢组合支撑及其他构件，且应设置可靠措施防止型钢构件坠落。
- 5.5.8** 组合钢板桩回收起点和顺序宜满足下列规定：
- 1 拔出顺序宜与沉桩相反，可根据沉桩情况确定拔桩起点；
 - 2 型钢构件宜分次、分段、间隔拔出，不宜连续拔出；
 - 3 不宜选择基坑角部位置作为回收起点。
- 5.5.9** 组合钢板桩所含型钢构件宜采用振动拔出法进行回收，起拔前宜采用振动法先沉入 100mm~300mm，再交替打拔至型钢构件拔出；引拔阻力较大时，宜采用间歇振动法，每次振动 15min。
- 5.5.10** 发现上拔困难或无法上拔时，应立即停止拔桩，查明原因解决问题后可继续施工。
- 5.5.11** 拔除大直径钢管桩等大型型钢构件时，应采取合理措施控制拔桩过程对土体的破坏情况。
- 5.5.12** 残余桩孔应采用散粒材料或浆液密实填充，填充材料可选用砂土、水泥-水玻璃双液浆、水泥净浆或水泥砂浆，填充方法可采用振动法、挤密填入法、注入法，选用其他填充材料及方法前应验证其填充效果。

6 质量验收

6.1 进场检测

6.1.1 进场的装配式型钢组合结构支护型钢原材应按批次进行验收，检验批次和抽检数量应满足设计要求，并应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定。

6.1.2 型钢原材进场时应具有该类构件的产品出厂质量证明文件、进口型钢构件尚应具有检测报告；型钢构件的品种、规格、型号、材质等应符合设计要求，并应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

6.1.3 U 型钢板桩原材进场的验收项目、允许值或允许偏差及检测验收方法应符合表 6.1.3 的规定。

表 6.1.3 U 型钢板桩材料进场检验标准

序号	检验项目	允许值或允许偏差	检验方法
1	截面宽度	$\pm B_u/50$	用钢尺量
2	截面高度	$\pm H_u/50$	用钢尺量
3	腹板、翼缘厚度	应符合产品标准的有关规定	用卡尺量
4	直线度	$l_u/1000$	用钢尺量
5	桩身长度	$\pm 10\text{mm}$	用钢尺量
6	桩身挠度	$l_u/500$	用钢尺量
7	端部平整度	2mm	用水平尺量
8	板材弯曲	$l_u/400$	用钢尺量
9	板材扭曲	$\pm 2^\circ$	用角度尺量
10	翼缘腹板夹角	$\pm 2^\circ$	用角度尺量

注： B_u 为 U 型钢板桩截面宽度， H_u 为 U 型钢板桩截面高度， l_u 为 U 型钢板桩桩身长度。

6.1.4 钢管原材进场的检验项目、允许值或允许偏差及检测验收方法应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 组合钢板桩用钢管材料进场检验标准

序号	检验项目	允许值或允许偏差	检验方法
1	管体外径 D_1	$\pm D_1/250$, 且不超过 $\pm 4\text{mm}$	用钢尺量
2	桩端外径 D_2	$\pm D_2/250$, 且不超过 $\pm 4\text{mm}$	用钢尺量
3	管体长度	$\pm 10\text{mm}$	用钢尺量
4	管体壁厚	$\pm t/10$	用钢尺量
5	管体椭圆度	$D_1/250$	用钢尺量
6	端部平整度	2mm	用钢尺量
7	管体垂直度	$l_p/500$	用钢尺量
8	端部平整度	2mm	用水平尺量
9	端部平面沿桩身中心线的倾斜值	2mm	用水平尺量

注： D_1 为管体外径， D_2 为桩端外径， t 为钢管管壁厚度， l_p 为钢管长度。

6.1.5 组合钢板桩用 H 型钢原材进场的验收项目、允许值或允许偏差及检测验收方法应符合表 6.1.5 的规定。

表 6.1.5 组合钢板桩用 H 型钢材料进场检验标准

序号	检验项目	允许值或允许偏差	检验方法
1	翼缘宽度 B_h	$\pm 3\text{mm}$	用钢尺量
2	截面高度 H_h	$\pm 5\text{mm}$	用钢尺量
3	腹板、翼缘厚度	$\pm 1\text{mm}$	用卡尺测量
4	直线度	$l_h/1000$	用钢尺量
5	长度 l_h	$\pm 10\text{mm}$	用钢尺量
6	挠度	$l_h/500$	用钢尺量
7	端部平整度	2mm	用水平尺量

注： B_h 为 H 型钢截面翼缘宽度， H_h 为 H 型钢截面高度， l_h 为 H 型钢长度。

6.1.6 组合钢板桩结构材料进场分项工程检验记录格式宜参照本规程附录 E 表 E.1~E.3。

6.1.7 型钢组合支撑 H 型钢标准件进场的检验项目、允许值或允许偏差及检测验收方法应符合表 6.1.7 的规定。

表 6.1.7 型钢组合支撑 H 型钢标准件质量检验验收标准

序号	检验项目	允许值或允许偏差	检验方法
1	截面尺寸	$\pm 3\text{mm}$	用钢尺量
2	标准件长度	$\pm 10\text{mm}$	用钢尺量
3	腹板、翼缘厚度	$\pm 1\text{mm}$	用卡尺量
4	直线度	$l_{\text{ah}}/1000$	用钢尺量
5	挠度	$l_{\text{ah}}/500$	用钢尺量
6	端部平整度	2mm	用钢尺量
7	螺栓孔间距	$\pm 2\text{mm}$	用钢尺量
8	螺栓孔直径	$+2\text{mm}$	用卡尺量
9	螺栓孔数量	0	目测

注： l_{ah} 为型钢组合支撑 H 型钢标准件长度。

6.1.8 型钢组合支撑 H 型钢标准件进场分项工程检验记录格式宜参照本规程附录 E 表 E.4。

6.1.9 装配式型钢组合结构基坑支护所涉及其他原材料的进场质量检验，应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

6.2 施工检测

6.2.1 组合钢板桩安装施工验收项目、允许值或允许偏差及检验方法应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 组合钢板桩结构质量检验验收标准

项目	序号	验收项目		允许值或允许偏差		检验方法
				单位	数值	
主控项目	1	型钢长度		不小于设计值		钢尺量测
	2	型钢弯曲度		—	$l/50$	钢尺量测
	3	构件标高		mm	± 100	水准仪量测
	4	对接焊缝		—	—	超声波/射线探伤检测
	5	角桩搭接		良好		目测
	6	桩位偏差	垂直围护桩轴线	mm	± 50	全站仪或钢尺量测
			沿围护桩轴线	mm	± 100	
	7	垂直度	垂直围护桩轴线	$l/100$		全站仪或钢尺量测
			沿围护桩轴线	$l/80$		
一般项目	1	锁口光滑度		无电焊渣或毛刺		目测
	2	锁口咬合程度		紧密		目测
	3	构件平直度		$\leq 100\text{mm}/10\text{m}$ 累积值 $\leq 200\text{mm}$		全站仪或钢尺量测
	4	支护结构渗漏		满足设计要求		基坑内外侧水位量测

注：l 为组合钢板桩型钢构件长度。

6.2.2 型钢组合支撑安装施工验收项目、允许值或允许偏差及检验方法应符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 型钢组合支撑安装施工质量验收标准

项目	序号	验收项目		允许值或允许偏差		检验方法
				单位	数值	
主控项目	1	两支撑之间轴线偏移		mm	± 30	水准仪
	2	组合支撑预加压力		kN	50	油泵读数或传感器
一般项目	1	型钢组合支撑	支撑挠度	$l/1000$		钢尺
	2		平面位置	mm	± 20	钢尺
	3		标高	mm	± 20	水准仪
	4	连接质量		设计要求		—
	5	螺栓松紧度		N·m	≥ 105	扭矩扳手法
	6	盖板、系杆	尺寸、规格	mm	-1	钢尺
	7		间距	mm	20	钢尺
	8	焊缝厚度		设计值		焊缝检验尺

注：l 为型钢组合支撑长度。

6.2.3 组合围檩安装施工验收项目、允许值或允许偏差及检验方法应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 组合围檩安装质量验收标准

序号	验收项目	允许值或允许偏差	检验方法
1	板面标高	$\pm 10\text{mm}$	水准仪
2	水平度	$l/1000$	水准仪

注： l 为组合围檩长度。

6.2.4 三角传力构件安装施工验收项目、允许值或允许偏差及检验方法应符合表 6.2.4 的规定。

表 6.2.4 三角传力构件安装质量验收标准

序号	验收项目	允许值或允许偏差	检验方法
1	轴线偏差	$\pm 10\text{mm}$	全站仪
2	顶面标高	$\pm 10\text{mm}$	水准仪

6.2.5 立柱、托座及托架安装施工验收项目、允许值或允许偏差及检验方法应符合表 6.2.5 的规定。

表 6.2.5 立柱、托座及托架安装质量验收标准

项目	序号	验收项目	允许值或允许偏差	检验方法
主控项目	1	立柱截面尺寸	$\pm 5\text{mm}$	钢尺
	2	立柱长度	$\pm 50\text{mm}$	钢尺
	3	立柱垂直度	$l/100$	钢尺或吊线
一般项目	1	立柱挠度	$l/500$	钢尺
	2	立柱顶标高	$\pm 30\text{mm}$	水准仪
	3	平面位置	$\pm 20\text{mm}$	钢尺
	4	平面转角	3°	钢尺
	5	托座、托架标高	$\pm 5\text{mm}$	水准仪

注： l 为立柱长度。

6.3 验 收

6.3.1 装配式型钢组合结构基坑支护各分项工程应划分检验批成批验收，检验批的划分应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定；组合钢板桩的质量验收应在土方开挖前进行，型钢组合支撑结构的质量验收应在对应的分层土方开挖前进行。

6.3.2 装配式型钢组合结构基坑支护工程验收时应提交下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 支护结构设计文件、图纸会审记录和技术交底资料；
- 3 施工组织设计及专项施工方案；
- 4 工程测量、定位放线记录；
- 5 型钢原材质量合格证明；
- 6 施工记录及施工单位自查评定报告；
- 7 基坑监测报告；
- 8 隐蔽工程验收资料；
- 9 检验与检测报告；
- 10 其他应提供的文件和记录。

7 监 测

7.0.1 装配式型钢组合结构基坑的监测方法、数据处理和精度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。

7.0.2 监测方案应与设计、施工方案相匹配，且应准确反映支护结构状态及施工对环境的影响。

7.0.3 应根据基坑安全等级与工程实际情况参照表 7.0.3 选择监测项目，土体变形及周边环境相关的监测项目选择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。

表 7.0.3 装配式型钢组合结构基坑支护监测项目

监测项目	基坑安全等级		
	一级	二级	三级
组合钢板桩顶部水平位移	应测	应测	应测
组合钢板桩顶部竖向位移	应测	应测	应测
深层水平位移	应测	应测	宜测
组合钢板桩截面内力	宜测	可测	可测
组合钢板桩侧向土压力	宜测	可测	可测
型钢组合支撑轴力	应测	应测	可测
立柱竖向位移	应测	宜测	可测
立柱内力	宜测	可测	可测
组合围檩内力	可测	可测	可测
地下水位	应测	应测	应测

7.0.4 设计单位应在设计文件中明确给出各项监测预警值，应根据基坑支护设计方案、现场环境条件及当地工程经验等因素确定，当无当地工程经验时，可按附录 F 确定。

7.0.5 型钢组合支撑轴力监测点布置应符合下列规定：

1 监测点宜布置于型钢组合支撑内力较大、基坑阳角或在型钢组合支撑中起控制作用的杆件上；

2 支撑若为多层组合支撑，每层支撑的轴力监测点不小于3处，各层支撑的轴力监测点位置应在竖向位置保持一致；

3 监测断面宜选择于支撑的端头或两支点间三分之一部位，并避开连接节点；

4 型钢组合支撑轴力宜采用自动化监测，传感器与自动采集装置的布置宜与现场施工情况协调。

7.0.6 监测数据应及时反馈，液压伺服系统宜根据监测结果动态调整轴力。

7.0.7 当进行组合钢板桩内力监测时，监测点宜布置于计算内力及位移较大位置处，传感器的选型应满足沉桩施工要求。

附录 A 组合钢板桩常用技术参数

A.0.1 组合钢板桩中 U 型钢板桩的截面尺寸及其他计算参数应按本规程表 A.0.1 进行选取。

表 A.0.1 U 型钢板桩截面尺寸及其他参数

型号	截面尺寸			计算参数			
	宽	高	厚度	截面面积	理论重量	惯性矩	截面模量
	B_u	H_u	t_u	A_u	G_u	I_{ux}	W_{ux}
	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³
SKSP-Ⅲ	400.0	125.0	13.0	76.42	60.0	2220.0	223.0
SKSP-Ⅳ	400.0	170.0	15.5	96.99	76.1	4670.0	362.0
SKSP-Ⅳ _w	600.0	210.0	18.0	135.30	106.0	8630.0	539.0

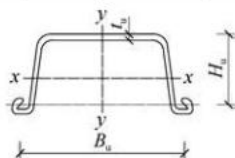


图 A.0.1 U 型钢板桩截面尺寸

A.0.2 HLC 型组合桩的截面组合形式应符合图 A.0.2，H 型钢的截面尺寸及其他计算参数应按本规程表 A.0.2 进行选取。

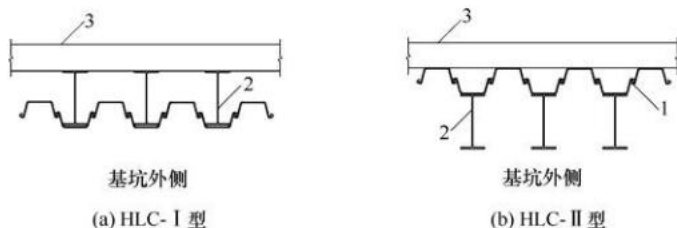


图 A.0.2 HLC 型组合桩截面形式

1—U 型钢板桩；2—H 型钢；3—组合围檩

表 A.0.2 HLC 型组合桩用 H 型钢截面尺寸及其他参数

型钢规格	截面面积 (cm^2)	理论重量 (kg/m)	惯性矩 (cm^4)		惯性半径 (cm)		截面模量 (cm^3)	
			I_{Hx}	I_{Hy}	i_{Hx}	i_{Hy}	W_{Hx}	W_{Hy}
$488 \times 300 \times 11 \times 18$	159.2	124.9	67916	8106	20.66	7.14	2783.0	540.4
$700 \times 300 \times 13 \times 24$	231.5	181.8	193622	10814	28.92	6.83	5532.0	720.9

A.0.3 PLC 型组合桩的截面组合形式应符合图 A.0.3，钢管的截面尺寸及其他计算参数应按本规程表 A.0.3 进行选取。

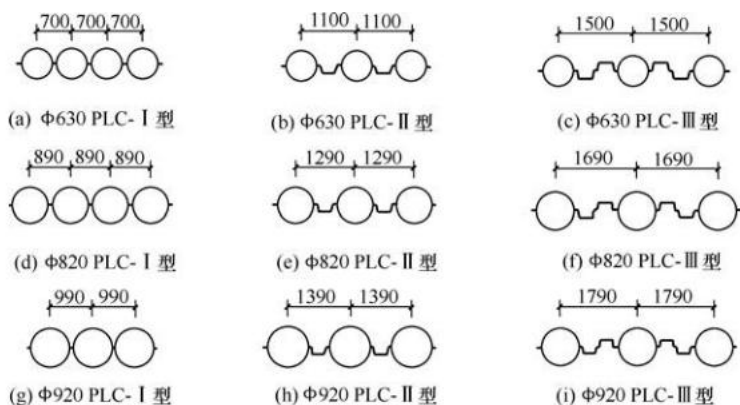


图 A.0.3 PLC 型组合桩几何截面

表 A.0.3 PLC 型组合桩截面特性及计算参数

序号	钢管直径 (mm)	壁厚 (mm)	单根钢管惯性矩 (cm^4)	截面模量 (cm^3)	钢管间距 (mm)	每延米比重 (kg)
(a)	630	14	128574	4081	700	332.9
(b)					1100	280.9
(c)					1500	256.7

续表 A. 0. 3

序号	钢管直径 (mm)	壁厚 (mm)	单根钢管惯性矩 (cm ⁴)	截面模量 (cm ³)	钢管间距 (mm)	每延米比重 (kg)
(d)	820	14	287954	7023	890	334. 8
(e)					1290	289. 9
(f)					1690	266. 3
(g)	920		408955	8890	990	336. 4
(h)					1390	293. 5
(i)					1790	270. 4

附录 B 常用型钢组合支撑技术参数

B.0.1 型钢组合支撑的单肢宜采用 $H400 \times 400 \times 13 \times 21$ 型 H 型钢制作，截面组合形式应符合图 B.0.1，组合截面计算参数及建议最大长度应按本规程表 B.0.1 进行选取。

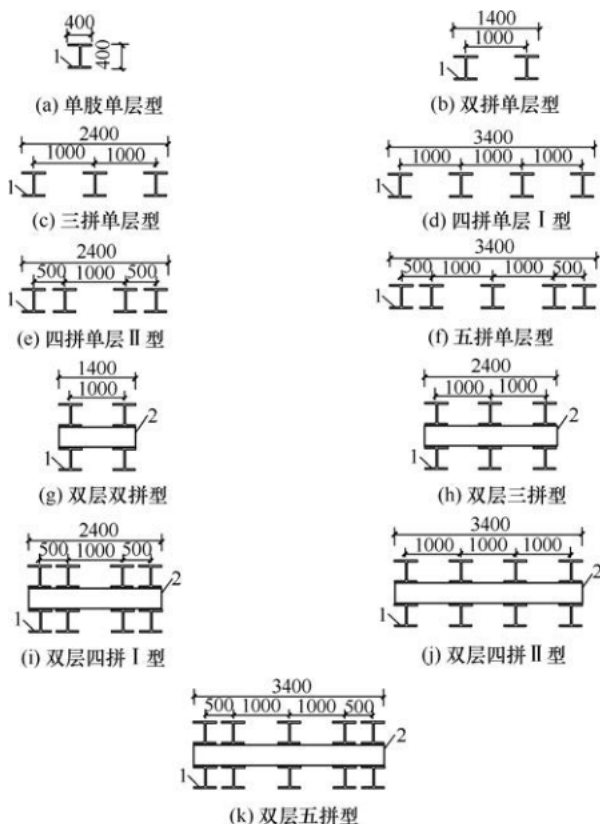


图 B.0.1 型钢组合支撑杆件截面形式

1—型钢组合支撑单肢；2—H 型钢垫梁

表 B.0.1 型钢组合支撑截面参数

编号	型钢 肢数	截面 惯性矩 I_x (cm^4)	截面 惯性矩 I_y (cm^4)	截面面积 A_{ss} (cm^2)	回转半径 i_x (cm)	回转半径 i_y (cm)	截面模量 W_{ssx} (cm^3)	截面模量 W_{ssy} (cm^3)	建议最大 长度 (m)
(a)	1	65362	22407	215	17	10	3268	1120	40
(b)	2	130723	1117313	429	17	51	6536	15962	60
(c)	3	196085	4357220	644	17	82	9804	36310	90
(d)	4	261446	5452126	858	17	80	13072	45434	90
(e)	4	261446	10814626	858	17	112	13072	63615	120
(f)	5	326808	14054533	1073	17	114	16340	82674	120
(g)	4	1634246	2234626	858	44	51	27237	31923	60
(h)	6	2451369	8714439	1287	44	82	40857	72620	100
(i)	8	3268493	10904252	1716	44	80	54475	90869	100
(j)	8	3268493	21629252	1716	44	112	54475	127231	150
(k)	10	4085616	28109066	2145	44	114	68094	165347	150

附录 C 组合结构型钢标准件构造

C.0.1 型钢组合支撑 H 型钢标准件的构造形式与规格应符合图 C.0.1 和表 C.0.1 的要求。

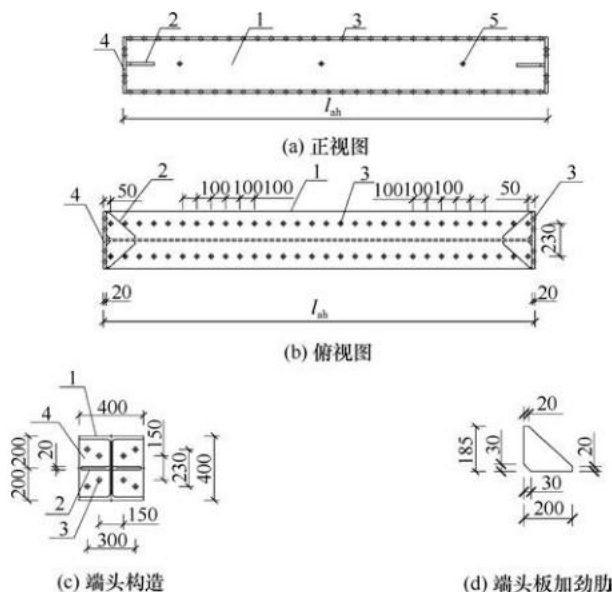


图 C.0.1 型钢组合支撑 H 型钢标准件构造形式

1—H 型钢；2—端头板加劲肋；3—螺栓孔；4—端头板；5—落水孔

表 C.0.1 型钢组合支撑 H 型钢标准件规格

主材规格	端头板加劲肋厚度	l_{ah} 标准长度 (m)
H400×400× 13×21	30mm	0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、 0.40、0.45、0.50、0.55、0.60、0.70、 0.80、0.90、1.00、2.00、3.00、 4.00、5.00、6.00、12.00
	端头板厚度	
	20mm	

C.0.2 组合围檩 H 型钢标准件的构造形式与规格应符合图 C.0.2 和表 C.0.2 的要求。

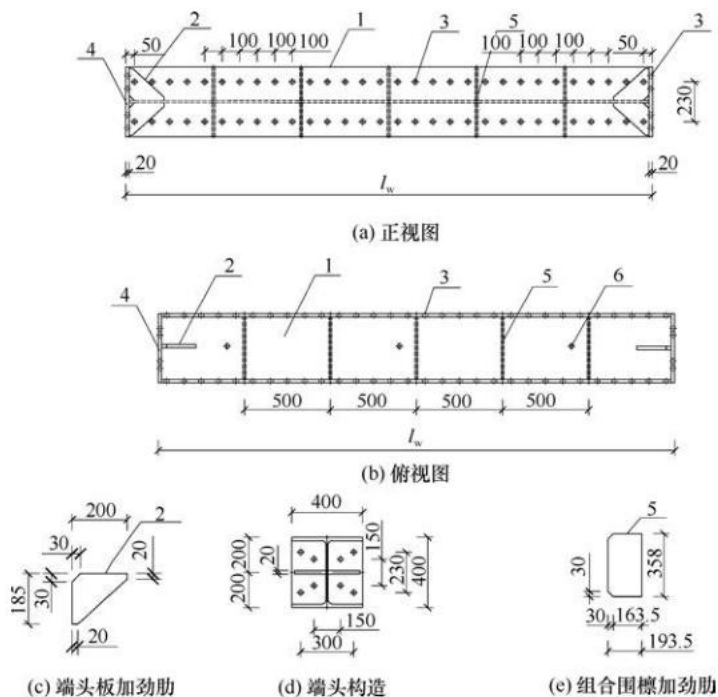


图 C.0.2 组合围檩 H 型钢标准件构造形式

1—H 型钢；2—端头板加劲肋；3—螺栓孔；4—端头板；5—组合围檩加劲肋；
6—落水孔

表 C.0.2 组合围檩 H 型钢标准件规格

主材规格	端头板、端头板 加劲肋厚度	l_w 标准长度 (m)
H400×400× 13×21	20mm	0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、 0.40、0.45、0.50、0.55、0.60、0.70、 0.80、0.90、1.00、2.00、3.00、4.00、 5.00、6.00、12.00
	组合围檩加劲肋厚度	
	16mm	

C.0.3 组合盖板的构造形式与规格应符合图 C.0.3 和表 C.0.3 的要求。

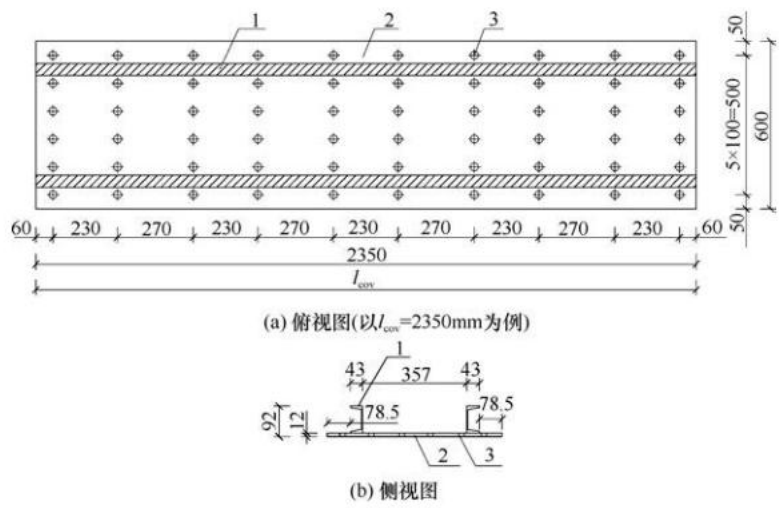


图 C.0.3 组合盖板构造形式

1—8# 槽钢；2—12mm 厚钢板；3—螺栓孔

表 C.0.3 组合盖板规格

主材规格	标准尺寸 (m)	
	长度 l_{cov}	长度模数
8# 槽钢、12mm 厚钢板	1.35~3.35	0.5

C.0.4 加压标准构件的构造形式与规格应符合图 C.0.4 和表 C.0.4 的要求。

表 C.0.4 加压标准构件规格

主材规格	标准尺寸 L_{pb} (mm)	螺栓孔直径 (mm)
H400×400×13×21	1500、2500、3500、4500、5500	28

注：加压标准构件的型钢规格应与型钢组合支撑的型钢规格相匹配。

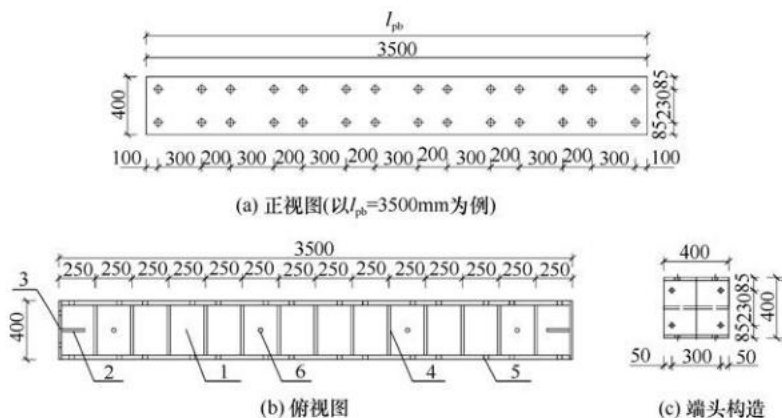


图 C.0.4 加压标准构件构造形式

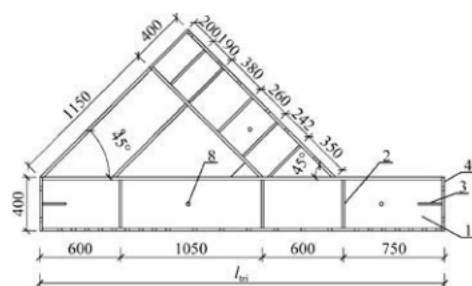
1—H 型钢；2—端头板加劲肋；3—端头板；4—内部加劲肋；
5—螺栓孔（孔径 28mm）；6—落水孔

C.0.5 三角传力构件应设置于组合围檩与型钢组合支撑之间并与二者可靠连接，其构造形式与规格应符合图 C.0.5 和表 C.0.5 的要求。

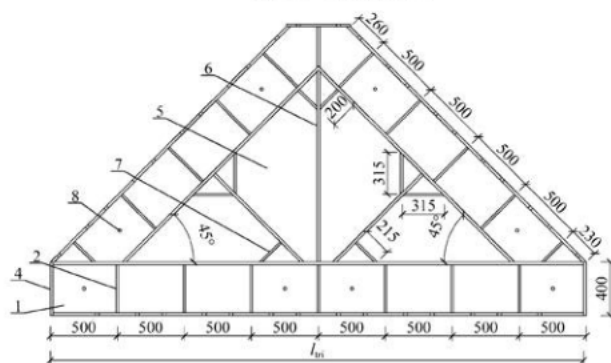
表 C.0.5 常用三角传力构件规格

序号	型钢规格	长边尺寸 l_{tri} (m)	适用范围	螺栓孔直径
(a)	H400×400× 13×21	3	角撑型钢组合支撑为双拼型钢组合截面时	28mm
(b)		4	对撑型钢组合支撑为五拼及以下的型钢组合截面时	
(c)		5	角撑型钢组合支撑为四拼及以下的型钢组合截面时	

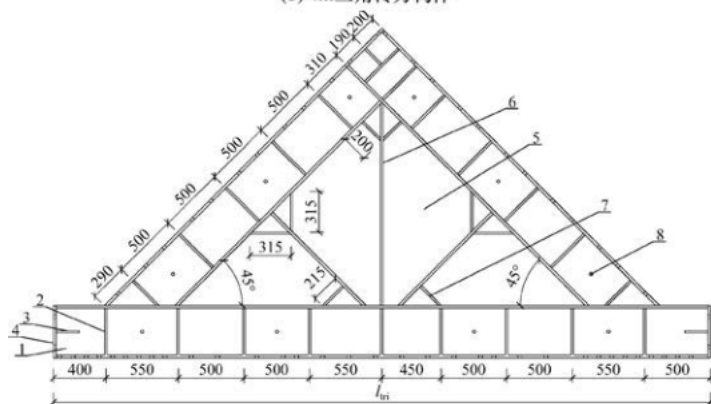
C.0.6 型钢组合支撑保力盒的构造形式与规格应符合图 C.0.6 和表 C.0.6 的要求。



(a) 3m三角传力构件



(b) 4m三角传力构件



(c) 5m三角传力构件

图 C.0.5 三角传力构件构造形式

1—H 型钢；2—H 型钢加劲肋；3—端头板加劲肋；4—端头板；5—内部钢板；
6—内部肋板；7—辅助肋板；8—落水孔

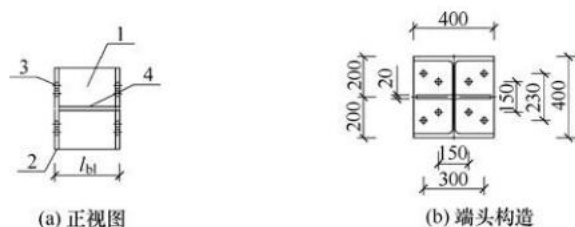


图 C.0.6 保力盒构造形式

1—H 型钢；2—端头板；3—螺栓孔（孔径 28mm）；4—加劲肋

表 C.0.6 保力盒规格

型钢规格	标准尺寸 l_{bl} (mm)
H400×400×13×21	250、350、500

C.0.7 型钢组合支撑的安装间隙应采用型钢垫板进行填充，型钢垫板的构造形式与规格应符合图 C.0.7 和表 C.0.7 的要求。

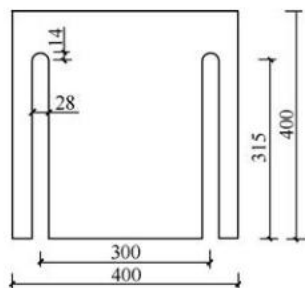


图 C.0.7 垫板构造形式

表 C.0.7 垫板规格

标准尺寸 (mm)	厚度 (mm)	开槽宽度 (mm)
400×400	20、16、12、10、5	28

附录 D 液压伺服控制系统设置要点

D.0.1 液压伺服预应力系统宜由电源系统、中央控制系统、终端控制系统、液压系统和无线传输系统等组成。

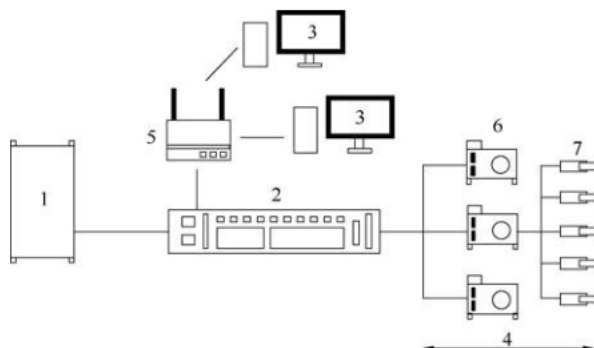


图 D.0.1 液压伺服预应力系统组成

1—电源系统；2—中央控制系统；3—终端控制系统；4—液压系统；

5—无线传输系统；6—液压油泵；7—轴力加压端

D.0.2 型钢组合支撑应通过液压伺服预应力系统的自动补偿功能保障轴力输出稳定，结合支撑轴力监测信息控制组合支撑体系的工作状态。

D.0.3 液压伺服预应力系统应设置在电力供应、控制系统、液压系统、机械装置等设置冗余，保障液压伺服预应力系统在基坑的设计使用期限内可靠工作。

D.0.4 液压系统可输出多路独立的控制油路为型钢组合支撑内各单肢型钢端部的液压千斤顶提供油压；液压系统的泵站宜采用变频调速电机控制油泵，油泵的流量及压力宜连续可调，且与相应压力检测装置形成压力控制闭环。

D.0.5 液压系统应采用全封闭结构设计，应通过内置温度传感

器、液位传感器实时监控液压系统工作状态。

D.0.6 加压装置应安装位移传感器监测其行程，当达到极限行程的 70% 时，系统应自动发出预警提示轴力补偿可能失效；加压装置中应设置平衡均载阀控制超载后卸载过程。

附录 E 各项检验、验收记录表

表 E.0.1 U 型钢板桩材料进场检验记录

工程名称			检验部位		
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 检验记录	监理（建设）单位 检验记录或结果	备注
序号	检验项目				
1	截面宽度				
2	截面高度				
3	腹板、翼缘厚度				
4	直线度				
5	桩身长度				
6	桩身挠度				
7	端部平整度				
8	板材弯曲				
9	板材扭曲				
10	翼缘腹板夹角				
施工单位检验 评定结果		班组长 质检员： 年 月 日 年 月 日			
监理（建设）单位 检验结论		监理工程师： （建设单位项目技术人员） 年 月 日			

表 E.0.2 组合钢板桩用钢管桩材料进场检验记录

工程名称			检验部位		
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 检验记录	监理（建设）单位 检验记录或结果	备注
序号	检验项目				
1	管体外径 D_1				
2	桩端外径 D_2				
3	管体长度				
4	管体壁厚				
5	管体椭圆度				
6	端部平整度				
7	管体垂直度				
8	端部平整度				
9	端部平面沿桩身 中心线的倾斜值				
施工单位检验 评定结果		班组长 质检员： 年 月 日 年 月 日			
监理（建设）单位 检验结论		监理工程师： （建设单位项目技术人员） 年 月 日			

表 E.0.3 组合钢板桩用 H 型钢材料进场检验记录

工程名称			检验部位		
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 检验记录	监理（建设）单位 检验记录或结果	备注
序号	检验项目				
1	翼缘宽度 B_h				
2	截面高度 H_h				
3	腹板、翼缘厚度				
4	直线度				
5	长度 l_h				
6	挠度				
7	端部平整度				
施工单位检验 评定结果		班组长 质检员： 年 月 日 年 月 日			
监理（建设）单位 检验结论		监理工程师： （建设单位项目技术人员） 年 月 日			

表 E.0.4 型钢组合支撑 H 型钢标准件材料进场检验记录

工程名称			检验部位		
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 检验记录	监理（建设）单位 检验记录或结果	备注
序号	检验项目				
1	截面尺寸				
2	标准件长度				
3	腹板、翼缘厚度				
4	直线度				
5	挠度				
6	端部平整度				
7	螺栓孔间距				
8	螺栓孔直径				
9	螺栓孔数量				
施工单位检验 评定结果		班组长 质检员： 年 月 日 年 月 日			
监理（建设）单位 检验结论		监理工程师： （建设单位项目技术人员） 年 月 日			

附录F 装配式型钢组合结构基坑支护监测预警值

F.0.1 装配式型钢组合结构基坑支护的监测预警值可根据表F.0.1 取值，且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。

表F.0.1 装配式型钢组合结构基坑支护监测预警值

序号	监测项目	基坑设计安全等级								
		一级			二级			三级		
		累计值		变化速率 (mm/d)	累计值		变化速率 (mm/d)	累计值		变化速率 (mm/d)
		绝对值 (mm)	相对基坑 设计深度 控制值		绝对值 (mm)	相对基坑 设计深度 控制值		绝对值 (mm)	相对基坑 设计深度 控制值	
1	组合钢板桩顶部水平位移	20~30	0.3 %~0.4 %	3~5	30~40	0.5 %~0.8 %	4~5	50~60	0.7 %~1.0 %	5~6
2	组合钢板桩顶部竖向位移	10~20	0.1 %~0.2 %	2~3	20~30	0.3 %~0.5 %	2~3	30~40	0.5 %~0.6 %	3~4
3	深层水平位移	40~50	0.6 %~0.7 %	2~3	50~60	0.7 %~0.8 %	3~5	60~70	0.8 %~1.0 %	4~5
5	组合钢板桩侧向土压力	60 %~70 %) f_1			70 %~80 %) f_1			70 %~80 %) f_1		
4	组合钢板桩截面内力	60 %~70 %) f_2			70 %~80 %) f_2			70 %~80 %) f_2		
6	型钢组合支撑轴力	最大值 60 %~80 %) f_2 最小值 80 %~100 %) f_{1s}			最大值 70 %~80 %) f_2 最小值 80 %~100 %) f_{1s}			最大值 70 %~80 %) f_2 最小值 80 %~100 %) f_{1s}		
7	立柱内力	60 %~70 %) f_2			70 %~80 %) f_2			70 %~80 %) f_2		
8	立柱竖向位移	20~30	—	2~3	20~30	—	2~3	20~40	—	2~4
9	组合围檩内力	60 %~75 %) f_2			70 %~80 %) f_2			70 %~80 %) f_2		

注：1 表中 f_1 为土压力荷载设计值， f_2 为各类构件的承载力设计值， f_{1s} 为型钢组合支撑预应力设计值；

2 累计值取绝对值和相对基坑设计深度控制值两者的较小值；

3 当被监测项目的变化速率达到表中规定值或连续3 次超过该值的70 %时应进行预警；

4 底板完成后，监测项目的位移变化速率不宜超过表中速率预警值的70 %。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《钢结构设计标准》GB 50017
- 3 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
- 4 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 5 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 6 《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497
- 7 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
- 8 《钢结构通用规范》GB 55006
- 9 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82
- 10 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 11 《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111
- 12 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

山东省工程建设标准

装配式型钢组合结构基坑支护
技术规程

DB37/T 5223 - 2022

条文说明

目 次

1 总则	57
3 基本规定	58
4 设计	60
4.1 一般规定	60
4.2 结构类型与布置	61
4.3 结构分析	61
4.4 构件计算	62
4.5 连接及节点计算	64
4.6 构造要求	64
5 施工	67
5.1 一般规定	67
5.2 组合钢板桩	67
5.3 型钢组合支撑	67
5.4 液压伺服控制	68
5.5 构件回收	68
6 质量验收	70
6.3 验收	70
7 监测	71

1 总 则

1.0.1 本规程编制的目的是对山东省内装配式型钢组合结构基坑支护的设计、施工、监测、验收及其他相关工作进行规范。近年来，山东省基础设施建设迅猛开展，基坑工程普遍具有工期紧张、场地狭小、周边环境复杂等特点，需要新型支护形式以适应当前基坑支护需求。以钢板桩-钢支撑支护为代表的型钢组合基坑支护结构具有施工简便、快捷高效、兼具止水功能、构件可重复利用等优点，逐渐得到工程建设相关单位的重视与应用。

1.0.2 本条是对本规程的适用范围做出界定，山东省内各类工业与民用建筑、市政基础设施工程中的基坑均可酌情采用装配式型钢组合结构进行支护。对于特殊土及岩质地层，应根据当地工程经验，在充分考虑地层岩土体的工程特性对基坑支护结构的影响后，再按照本规程中相关规定进行设计及施工。本规程未涵盖的装配式型钢组合结构支护类型，应通过专项试验分析并结合实际经验确定其可行性。

1.0.3 装配式型钢组合结构基坑支护技术涉及岩土工程、结构工程以及检测和监测等多技术领域，应用本规程时应结合实际情况并遵守其他相关规范的要求。

3 基本规定

3.0.2 对山东省内的新建工程，基坑支护使用期限设置为一年可满足大部分主体工程地下结构的施工要求；当装配式型钢组合结构基坑支护结构存在超期服役的可能或已超期服役时，应对其可靠性进行专业评估。

3.0.3 本规程的安全等级及重要性系数取值依据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 中的相关原则，将装配式型钢组合结构基坑支护的安全等级划分为三类，破坏后果具体表现为：1 组合钢板桩或型钢组合支撑出现结构破坏；2 基坑土体产生过大变形对周边环境及施工安全产生不利影响。支护结构的安全性等级应与重要性系数相匹配，当一侧基坑支护结构中的型钢组合支撑失稳破坏导致另一侧支护结构因受力改变可能形成连续倒塌时，相互影响的基坑各边支护结构应取相同的安全等级。

3.0.4 装配式型钢组合结构基坑支护设计时应结合此类支护结构的结构布置方案，依据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153、《钢结构设计标准》GB 50017 及现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定，采用极限状态设计方法，进行承载力极限状态与正常使用极限状态设计。

3.0.5 本条对装配式型钢组合结构基坑支护可能出现的承载力极限状态具体表现形式进行了归类，使工程技术人员能够对该支护结构的各种破坏形式形成具体认识，设计时应应对各种破坏状态进行预防与控制。

3.0.6 本条对装配式型钢组合结构基坑支护可能出现的正常使用极限状态具体表现形式进行了归类，使工程技术人员能够对该

支护结构的正常使用极限状态形成具体认识，设计时应同样注重对正常使用极限状态的设计。

3.0.9 本条对水土压力计算及土体的各类稳定性验算时所涉及的抗剪强度指标及土水压力分、合算方法进行了统一规定。勘察单位宜通过三轴剪切试验确定土的抗剪指标，黏性土、黏质粉土采用水土合算的方法进行土压力计算，碎石土、砂土、砂质粉土采用水土分算的方法进行土压力计算。

3.0.11 基坑监测对基坑自身及其周边环境的安全起到至关重要的作用，由于基坑周边环境条件的多样性与复杂性，根据监测信息对原基坑设计与施工方案进行动态调整是必要的；同时，对安全等级为一级的基坑宜利用监测反馈信息进行反演，检验校核设计与施工参数的准确性。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.2 满足建（构）筑物地下结构的施工是基坑工程的首要任务，保护基坑的周边环境是基坑设计的限制条件。因此在装配式型钢组合结构基坑支护的设计阶段，应对基坑周边环境进行充分的了解及调查，制定有针对性的周边环境保护措施。

4.1.3 装配式型钢组合结构基坑主要包含组合钢板桩与型钢组合支撑两种支护结构部分，组合钢板桩与型钢组合支撑的受力性能应协调匹配，避免出现抗力匹配严重失调的情况。为满足基坑工程安全、适用、耐久的要求，基坑结构的设计内容应在各构件设计为主的基础上扩展到整个基坑结构体系的设计。

4.1.4 基坑支护结构计算主流方式为将基坑的空间结构转化为平面结构计算，因此本规程中仍规定装配式型钢组合结构基坑支护的设计计算采用平面分析方法。

4.1.5 型钢组合支撑随基坑逐步开挖而分层设置，在设计文件中应拟定型钢组合支撑安装或回收与基坑土体开挖之间的关系，设计好开挖施工时各环节间的配合。因开挖到底时的工况未必是极端工况，故需对每一开挖过程中支护结构的承载状态进行分析。

4.1.6 基坑工程属于临时性工程，大部分型钢构件在服役期内暴露在施工环境中，较差的现场环境与施工条件可能加重钢材的腐蚀，且型钢构件需在基坑回填后回收以备重复利用，这对钢材的耐久性提出了更高的要求，因此有条件时可选用更高耐久性钢材制成的型钢构件，以提高装配式型钢组合结构基坑支护结构构件的耐久性与可回收性，达到保障安全及节约资源的目的。

4.2 结构类型与布置

4.2.2 根据目前各类型钢桩型的泛用程度，本规程列出了三种目前接受情况较好的组合基本单元，即 U 型钢板桩、钢管及 H 型钢。截面组合方式详见本规程附录 A。

其中，U 型钢板桩是通过热轧或冷弯工艺轧制成片状的钢体，构件之间通过锁口相连，由于其刚度较小，不适宜在开挖深度较大的基坑中进行使用；而 U 型钢板桩可与钢管或 H 型钢组合搭配，形成钢管-U 型钢板组合桩（PLC 型组合桩）及 H 型钢-U 型钢板组合桩（HLC 型组合桩）通过增设 H 型钢或钢管大幅增强了板桩墙的抗弯刚度，极大拓展了型钢支护的使用范围。

可根据工程需求选择组合截面中钢管桩与 U 型钢板桩占比不同的 PLC 型组合桩，钢管在组合截面中的占比越大其截面刚度越大。根据 H 型钢的放置位置不同，HLC 型组合桩可分为 HLC-I 型与 II 型桩；HLC-I 型桩 H 型钢与 U 型钢板桩间无需连接，可整体受力，但组合围檩与 U 型钢板桩之间的空隙较大，背填过程存在困难；而 HLC-II 型桩中，U 型钢板桩与组合围檩贴合较好，背填工作量较小，但是 U 型钢板桩与型钢之间的连接对两种杆件均有一定损伤，影响构件的外观与二次使用。

4.3 结构分析

4.3.1 在装配式型钢组合结构基坑支护的计算中，采用平面杆系结构弹性支点法进行分析。在得到组合钢板桩墙的支点力后，将支点力等值反向作为型钢组合支撑荷载，把组合支撑体系按平面结构进行分析。

4.3.2 基坑支护形式普遍为空间结构，当遇到一些异形基坑或按平面结构简化难以反映支护结构实际工作状态的情况时，可对其进行空间结构建模分析。空间分析方法在岩土工程计算分析领域具有广阔的应用前景，但目前用于工程设计中尚不成熟，常用于定性分析或补充验证，且对计算人员的工程经验及理论知识有着

较高的要求。因此当前阶段无法对此方法的使用作出具体规定。

4.3.3 山东省内现有的实际工程案例表明，现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 对基坑支护体系的稳定性验算、支护结构承载力计算、竖向构件嵌固深度验算的有关规定可有效指导装配式型钢组合结构基坑支护的设计，故在本规程中沿用其计算方法。

4.4 构件计算

4.4.1 严格意义上，虽然组合钢板桩类的竖向支挡构件在使用过程中所受轴力一般较小，但仍应将其视为压弯构件，且不排除某些极端工况下组合钢板桩身轴力较大，一些工程案例表明组合钢板桩屈曲破坏主要发生在沉桩阶段及使用阶段桩身中同时存在弯矩与轴力作用的情况。按目前实际工程中的设计计算方法，通常将基坑支护桩视为纯弯构件，因此本规程也明确了组合钢板桩可按纯弯构件进行设计。

4.4.2 由于 PLC 型组合桩中的钢管及 HLC 型组合桩中的 H 型钢其截面刚度显著大于 U 型钢板桩，目前常规设计仅将组合钢板桩中所含的 U 型钢板桩作为截水构件，其抗力作为一种强度储备，在计算中忽略其所提供的抗力；

有时，钢管或 H 型钢间距较大时，U 型钢板桩所提供的抗力较高，忽略其抗力贡献可能造成经济性不佳；考虑到上述因素，本条未严格限制设计中考虑 PLC 及 HLC 型组合桩内所含 U 型钢板桩的抗力贡献，可根据当地的实际工程的应用情况进行设计方案优化以提高经济性。

4.4.3 本条对组合钢板桩的强度计算进行了规定，相较于现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的计算方法，在公式中取消了截面塑性发展系数，将钢材塑性发展所提升的抗力作为强度储备，并且因组合钢板桩的型钢构件在使用完后将回收循环使用，因此在服役阶段型钢构件不宜因材料屈服出现塑性；此外为考虑组合钢板桩受到水平构件约束、组合截面各构件协同工作

及重复使用对型钢构件的损耗等因素影响，在公式中增设了组合钢板桩的结构整体性系数、组合截面模量修正系数及重复利用折减系数。重复利用折减系数宜根据组合钢板桩中各构件的重复使用次数及钢构件的损伤情况酌情确定。

组合钢板桩截面强度计算公式中， δ_1 为组合钢板桩结构整体性系数，可根据组合钢板桩顶部设有冠梁且组合围檩整体性进行取值，当桩顶存在冠梁且组合围檩的整体良好时，组合钢板桩整体工作能力可获得保障，此时 $\delta_1 = 1.0$ ，其他情况应适当折减，因此其他情况下建议 $\delta_1 = 0.9$ 。

ξ 为组合钢板桩重复利用折减系数，其作用是考虑型钢构件在循环使用中的损耗情况；经重复使用后型钢构件逐渐损耗，构件抗力随之降低；原则上应根据型钢构件的现状截面尺寸计算得出的截面模量与设计截面模量的比值确定，但实际工程中实施较为困难，为方便工程应用，本规程给出参考取值 $\xi = 0.80 \sim 0.95$ ，但取值时仍需要根据构件循环使用次数、构件的实际状态及实际工程情况进行取值。

4.4.4 本条对组合钢板桩的整体稳定性计算进行了规定，在计算公式中取消了截面塑性发展系数，由于组合钢板桩在沿基坑边线方向相互连接约束，故不会发生平面外失稳的情况，故无需进行平面外稳定性验算。

4.4.5 进行稳定性验算时杆件计算长度是一个重要参数，故本条对组合钢板桩的计算长度作出了规定。

4.4.6 在温度变化时，将型钢组合支撑简化为两端固定杆件进行计算，假定杆件全长温度相同。型钢组合支撑的温度影响除按式 4.4.6 计算外，也可采用整体分析法进行分析。

4.4.7 与本规程 4.4.3 条的条文说明同理，本条在支撑杆件截面强度计算公式中取消了截面塑性发展系数，将钢板桩塑性发展所提升的抗力作为强度储备。

4.4.12 现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中将单桩竖向极限承载力标准值的 0.5 倍作为单桩承载力特征值。因立柱

桩属于临时结构，取安全系数为 2 较为保守，可根据实际工程经验进行折减，但应保证立柱的沉降值小于相关规定。

4.4.13 由于型钢组合支撑对托梁受压翼缘形成了较好的约束，因此无需对托梁进行受弯构件的整体稳定性计算。托梁在承托型钢组合支撑时若因其自身刚度较小而导致挠度较大时，将对型钢组合支撑的整体稳定性造成不利影响，因此在本条对托梁的挠度进行限制。

4.5 连接及节点计算

4.5.2 由于焊接连接对预制型钢构件的破坏较大，不利于构件的再次使用，因此为保证装配式型钢组合结构基坑支护工程中各型钢构件的回收与循环利用，在连接过程中应尽量减少焊接连接。受到目前技术的局限性，部分辅助构件安装时仍需要使用焊接方式连接保证整体性，故本规程并未完全限制焊接连接的使用。

4.6 构造要求

4.6.2 为保证不产生薄弱截面，焊接连接处作为潜在的薄弱环节，不应使所有焊接接头处于同一平面位置，故规定组合钢板桩型钢原材的焊接接头应交错配置；为保证组合钢板桩中的各型钢原材的传力性能及考虑到应用此种支护形式的基坑实际开挖深度，结合常用型钢出厂长度，在此条中规定了每根型钢原材桩仅允许接长一次。

4.6.3 型钢组合支撑的整体刚度依赖于杆件之间的合理连接，其构件的拼接应满足截面等强度的要求。施工现场施工条件一般较差，高强度螺栓连接相对于焊接，在施工速度及质量上均有优势，但相同情况下高强度螺栓连接的整体性低于焊接连接，故在必要的情况下为增强构件的整体性可使用焊接方式进行连接。

4.6.5 组合围檩受力情况复杂，当采用短板齐平拼接不能满足与原材等强度要求时，型钢翼缘在拼接处均应设置拼接板，以提高拼接处的抗弯抗剪能力。围檩连续封闭成为整体有利于荷载传递，

增加了组合支撑体系的整体性，因此若条件允许宜将围檩封闭，当组合围檩无法封闭时，应复核断开位置围檩与组合钢板桩的抗剪承载力，增加抗剪措施，避免组合围檩与组合钢板桩之间的错动。

4.6.7 为提高型钢构件的可回收性，承托托梁的托座宜采用螺栓连接而并非焊接的方式与立柱进行连接。托架与立柱的螺栓连接构造见图 1。

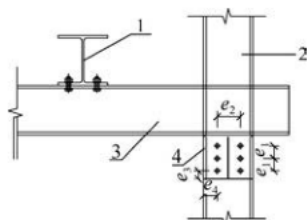


图 1 托架与立柱的螺栓连接构造

1—型钢组合支撑 H 型钢标准件；2—立柱；3—托梁；

4—托架； e_1 —螺栓栓距； e_2 —螺栓线距；

e_3 —螺栓端距； e_4 —螺栓边距

当型钢组合支撑的组合截面较大时，托梁的跨度较大，设置隅撑辅助托架承托托梁可降低托梁最大弯矩、减小挠度，保证型钢组合支撑的稳定性。隅撑设置示意图 2。

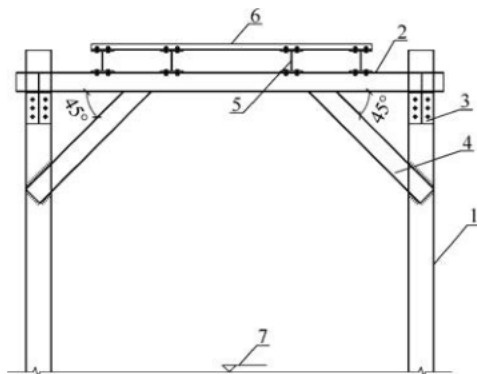


图 2 隅撑设置示意图

1—立柱；2—托梁；3—托架；4—隅撑；5—型钢组合

支撑；6—组合盖板；7—坑底或下一道支撑中心标高

立柱在穿越底板时，应在相交位置处设置止水钢片或其他止水措施，以保证此处的底板防水满足功能性要求。立柱穿越底板防水构造见图 3。

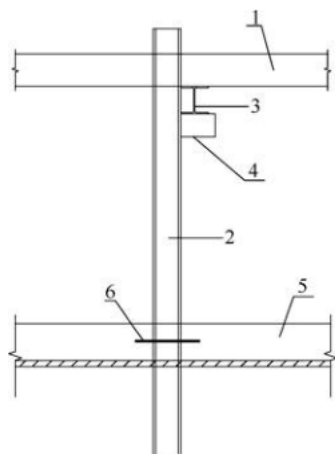


图 3 立柱穿越底板防水构造

1—型钢组合支撑；2—立柱；3—托梁；4—托架；
5—主体结构底板；6—组止水钢片或其他止水措施

5 施 工

5.1 一 般 规 定

5.1.5 施工中若在型钢组合支撑上堆放材料或其他重物，可能引起型钢组合支撑杆件中产生较大的附加弯矩，不利于杆系结构的整体稳定。因此在施工过程中，应加强巡视检查，避免此类现象。

5.2 组合钢板桩

5.2.5 组合钢板桩施工应优先选择低噪声、低振动的施工方式，减少对周边环境的影响，并制定相应的方案；对环境保护及噪声控制要求高的基坑工程，宜采用静压法施工。

II 冲击法沉桩

5.2.10 由于冲击法沉桩产生的振动与噪声污染较为严重，在应用上受到一定限制，并不适用于环境敏感型的建设场地。

III 静压法沉桩

5.2.13 当土质较硬，仅用静压植桩机很难压入时，可配备螺旋钻孔机，或在压桩机上配备专用的螺旋钻，采用引孔法压桩。当桩端需进入较坚硬的岩层时，应配备可入岩的钻孔桩机或冲孔桩机。

5.2.16 静压沉桩施工时，平面外的倾斜率大于3%时就需要进行纠偏处理。在进行较长的桩体沉桩施工时，宜及时采取矫正措施。

5.3 型钢组合支撑

5.3.4 立柱施工前应进行放样定位复核，立柱应避开主体结构

的梁、柱、墙等位置；立柱与楼板的交接处应使模板预留“开口”以方便立柱回收。

5.3.5 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度螺栓连接。在型钢组合支撑安装过程中，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。

5.4 液压伺服控制

5.4.5 钢材的热胀冷缩可能对型钢组合支撑造成不利影响，夏季施工时支撑杆件内部可能产生较大温度应力，此时需及时采取降温措施，必要时释放部分预应力；冬期施工，支撑收缩使支撑端头或连接位置出现空隙，需通过可靠措施维持杆件的预应力。在支护结构服役期内宜根据支撑杆件内力的监测结果随时调整其轴力值，使型钢组合支撑避免因温度变化引起附加应力而造成破坏，且始终保持受压状态。

5.5 构件回收

5.5.3 装配式型钢组合结构基坑支护的型钢构件在循环使用的过程中可能会产生变形或损伤，对可以修复的构件应进行校正与修补后继续投入使用，修复后的型钢构件应能满足下次使用时设计要求。

5.5.4 型钢组合支撑的回收在基坑施工过程中较为关键，构件拆除回收的顺序不当可能导致严重的工程事故，因此为保证回收过程的安全，对回收流程做出了具体规定。

5.5.9 拔桩方法多采用振动法。振动拔桩法利用振动装置产生的振动，扰动并破坏钢板桩周围土体的摩阻力和吸附力，并使钢板桩锁口松动，依靠吊车或机械手施加提升力，边振边拔，直至拔桩完成。

5.5.12 拔桩过程中，一般或多或少都会带出部分土体形成桩

孔，根据施工经验，拔桩期间容易造成相邻地面沉降和出现裂缝。因此，如果拔桩部位邻近有保护要求严格的建（构）筑物、地下管线或道路等，应引起特别重视，要加强沉降监测，并按照本条桩孔处理措施做好相应的应急预案工作。在环境敏感的区域，应边拔边注浆回填；对变形要求非常高的区域，需在组合钢板桩拔出前，对桩与保护对象之间的土体进行加固，甚至将桩留在土中。

6 质量验收

6.3 验收

6.3.1 为保证与其他基坑支护结构在验收环节上的统一性，本规程沿用《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的要求，对装配式型钢组合结构基坑支护进行质量验收。根据《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定，组合钢板桩与型钢组合支撑结构均属于“地基与基础”分部工程中“基坑支护”子分部工程中所含的分项工程之一，分项工程又应划分成若干检验批进行质量验收，应在检验批验收合格的基础上进行各分项工程的验收。

7 监 测

7.0.3 对装配式型钢组合结构基坑支护进行监测的目的是预防发生安全事故，感知基坑施工对周边环境的影响。基坑监测是保证支护体系与周边环境安全的重要手段。监测工作应委托具有相应资质的第三方专业监测机构进行，监测项目的设计监测期应覆盖基坑施工的全过程，同时监测项目的测点布设及监测频率也应具有可行性。

7.0.4 监测预警值的确定是装配式型钢组合结构基坑支护监测工作的实施前提，是基坑工作状态判断的重要判据，监测预警值的设置应满足基坑及周边环境的安全控制要求，故在基坑工程监测方案中应明确规定监测预警值。