

ICS 77.140.70

H 44

备案号:

DB42

湖北省地方标准

DB42/T XXXX—XXXX

# 帽型钢板桩与 H 型钢组合结构 设计与施工规范

Code for design and construction of Hat—type sheet pile and H shaped steel  
composite structure

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

湖北省住房和城乡建设厅  
湖北省市场监督管理局

联合发布



## 目 次

前言.....	I
1 范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语和定义.....	3
4 调查与工程勘察.....	6
5 材料.....	7
6 基本规定.....	8
7 支护结构设计.....	13
8 构造要求.....	22
9 施工.....	25
10 监测.....	29
11 工程质量检验及验收.....	32
附 录 A（规范性附录） Hat+H 组合钢板桩支护结构常用规格.....	36
附 录 B（规范性附录） 腐蚀环境分类.....	37
条文说明.....	38

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由湖北省住房与城市建设厅提出并归口。

本标准起草单位：长江勘测规划设计研究院、日铁咨询（北京）有限公司上海分公司、湖北毅力机械有限公司、湖北省标准化与质量研究院、中南勘察设计院集团有限公司、中冶集团武汉勘察研究院有限公司，武汉金炜建设工程有限公司。

本标准起草人：桂树强、杨可、周实、李响、周健、刘琨、杜金龙、李强、赵海丰、刘国栋、肖玉成、陈斌、马隕、张汉涛、王琦、王君雄、张锐、刘宝波、吴云舟。

本标准实施应用中的疑问，可咨询湖北省住房和城乡建设厅，联系电话：027-68873063，邮箱：1012726846@qq.com、491940599@qq.com；对本标准的有关修改意见建议请反馈至长江勘测规划设计研究院，联系电话：027-82927050，邮箱：yangke3@cjwsjy.com.cn，邮寄地址：武汉市江岸区永清路19号长江水利水电科技楼，邮编：430000。

# 帽型钢板桩与 H 型钢组合结构与施工规范

## 1 范围

本标准规定了帽型钢板桩与H型钢结合结构(以下简称Hat+H组合桩)在调查与工程勘察、材料、基本规定、支护结构设计、构造要求、施工、监测、工程质量检验及验收的要求。

本标准适用的工程包括：地下及半地下建筑等建筑物、市政公用设施基坑支护工程以及河道湖泊护岸、堤防加固、截流围堰、港湾码头等防渗支挡工程。

本标准适用的地理条件：湖北省内一般粘性土、砂性土和粒径不大于100mm的卵石层地层，不适用于碎石含量大于40%的碎石土。使用前应做好调查和勘察及现场试验等工作，对于膨胀土等特殊土，应结合当地工程经验并进行专项技术研究。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1591	低合金高强度结构钢
GB/T 5117	非合金钢及细晶粒钢焊条
GB/T 8110	气体保护电弧用碳钢、低合金钢焊丝
GB/T 8923	涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定
GB/T 11263	热轧H型钢和剖分T型钢
GB 14907	钢结构防火涂料
GB/T 20933	热轧钢板桩
GB 50017	钢结构设计标准
GB 50021	岩土工程勘察规范
DB42/ 242	建筑地基基础技术规范
GB 50046	工业建筑防腐蚀设计标准
GB 50202	建筑地基基础工程施工质量验收标准
GB 50205	钢结构工程施工质量验收规范
GB 50300	建筑工程施工质量验收统一标准
GB 50497	建筑基坑工程监测技术规范
GB 50661	钢结构焊接规范
CECS 24	钢结构防火涂料应用技术规范
JGJ 94	建筑桩基技术规范
YB/T 3301	焊接H型钢

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

## 3.1

**帽型钢板桩 Hat—type sheet pile**

采用帽子形状截面的新型热轧钢板桩，板体位于锁口连接线的同侧，与传统U型钢板桩相比具有更大的幅宽、较大的截面模量以及较高的结构可靠性。

## 3.2

**H型钢 H shaped steel**

符合国标《热轧H型钢和剖分T型钢》GB/T 11263或《焊接H型钢》YB 3301的H型钢。

## 3.3

**帽型钢板桩与H型钢组合结构 Hat—type sheet pile and H shaped steel composite retaining structures**

通过焊接或螺栓连接的方式将帽型钢板桩与H型钢连接起来的组合结构，与传统U型钢板桩支护结构相比具有更高的抗弯性能，可满足应用于深基坑支护、高水头围堰以及高边坡防护等临时或永久支护结构时的抗弯刚度要求。

## 3.4

**基坑支护 retaining and protection for excavations**

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

## 3.5

**支护结构 retaining and protection Structure**

支挡或加固基坑与边坡侧壁的承受荷载的结构。

## 3.6

**主动土压力 active earth pressure**

基坑开挖至某一深度后支护结构向坑内方向产生一定程度的位移或转动致使主动侧土体达到极限平衡状态时的最小侧向土压力。

## 3.7

**被动土压力 passive earth pressure**

支护结构在外力作用下产生向坑外方向或迎土面侧的一定程度的位移或转动致使被动侧土体达到极限平衡状态时的最大侧向土压力。

## 3.8

**嵌固深度 embedded depth**

为保证支护结构稳定与安全，帽型钢板桩、H型钢或组合结构在基坑底面以下的埋置深度。

## 3.9

**整体稳定 overall stability**

在荷载作用下，对整个结构或构件不发生屈曲或失稳的评估。

## 3.10

**局部稳定 local stability**

在荷载作用下，对结构或构件局部不发生屈曲或失稳的评估。

**3.11 符号****3.11.1 作用和作用效应**

$M$ ——弯矩设计值，kN·m；  
 $M_K$ ——弯矩标准值，kN·m；  
 $V$ ——剪力设计值，kN/m；  
 $V_K$ ——剪力标准值，kN/m；  
 $N$ ——轴向拉力或轴向压力设计值，kN；  
 $N_K$ ——轴向拉力或轴向压力标准值，kN；  
 $\sigma$ ——钢板桩或组合支护结构截面计算应力，N/mm<sup>2</sup>；  
 $M_c$ ——截面弯矩设计值，kN·m。

**3.11.2 抗力和材料性能**

$R$ ——结构构件抗力的设计值，按有关建筑结构设计规范的规定确定；  
 $S_k$ ——承载能力极限状态下荷载组合的效应设计值；  
 $S_d$ ——正常使用极限状态下荷载组合的效应设计值（水平位移和沉降变形等）；  
 $C$ ——支护结构、周边建筑物及地面水平位移和沉降变形的限值；  
 $W_x$ ——截面模量，mm<sup>3</sup>；  
 $I$ ——截面惯性矩，mm<sup>4</sup>；  
 $N$ ——钢板桩轴向力设计值，kN；  
 $[f]$ ——组合支护结构强度设计值，N/mm<sup>2</sup>；  
 $e_{ptk}$ ——按弹性抗力法计算的被动区抗力，kPa；  
 $E_{ptk}$ ——支护结构嵌入深度范围内被动区抗力合力（抗力反向时取绝对值求和），kN；  
 $E_p$ ——支挡结构嵌入深度范围内的被动土压力合力，kN；  
 $\gamma_a$ 、 $\gamma_p$ ——分别为主动侧、被动侧土层的加权平均重度；  
 $c_k$ 、 $\varphi_k$ ——桩（墙）侧面或底部土层的抗剪强度指标标准值。

**3.11.3 几何参数**

$W$ ——有效宽度；  
 $H$ ——有效高度；  
 $t$ ——帽型钢板桩腹板厚度；  
 $t_1$ ——H型钢腹板厚度；  
 $t_2$ ——H型钢翼缘厚度；  
 $r$ ——H型钢圆角半径；  
 $A$ ——钢板桩截面面积，m<sup>2</sup>；  
 $\Delta x$ ——支护结构的水平位移，m。

**3.11.4 计算系数**

$\psi_f$ ——临时性支挡结构调整系数；  
 $\beta$ ——钢板桩锁口连接状态导致的截面性能折减系数；

- $\xi$ ——钢板桩重复利用折减系数；  
 $k_h$ ——水平向基床系数；  
 $k_{tk}$ ——被动区抗力安全系数；  
 $N_q$ ——承载力系数；  
 $k_{lq}$ ——坑底抗隆起安全系数。

## 4 调查与工程勘察

### 4.1 一般规定

4.1.1 Hat+H 组合桩工程设计及施工前应进行调查、工程地质与水文地质勘察，当拟建主体工程详细勘察资料不能满足设计要求时，应进行专项岩土工程勘察。

4.1.2 Hat+H 组合桩工程勘察除执行本规范外，尚应符合 GB 50021 的要求。

### 4.2 调查

Hat+H组合桩设计前的一般调查应包括周边环境、区域地质等相关资料的收集以及施工条件和影响因素调查，包括但不限于下列内容：

- 调查工程区域环境条件、气候条件、施工条件、周围土地利用与规划情况；
- 收集和分析工程区域的工程地质、水文地质和地震等资料；
- 查明工程影响区域内的临近建（构）筑物及地下管线的位置及状况；
- 调查当地类似工程的主要支护形式、施工方法及工程经验；
- 调查工程地形、地貌、挖（填）方资料以及工程相关的法规、标准等。

### 4.3 工程勘察

4.3.1 工程勘察应正确反映工程地质与水文地质条件，查明不良地质作用和地质灾害及其对结构整体稳定性的影响，提出岩土设计和施工参数，提出设计、监测及施工工艺等方面的建议。

#### 4.3.2 工程勘察还应包括下列内容：

- 地层岩性及其分布、岩组划分、风化程度、岩土化学稳定性及腐蚀性；
- 岩土天然容重、抗剪强度等物理力学指标，具有传力结构时，地基的反力系数，抗剪强度指标及剪切试验的方法应与分析计算的方法相配套；
- 主要含水层的分布、厚度、埋深，地下水的类型、水位、补给排泄条件、渗透系数、水质及其腐蚀性；
- 边坡工程应提出边坡破坏形式和稳定性评价，地质环境条件复杂、稳定性较差的大型边坡宜在勘察期间进行变形和地下水位动态监测；
- Hat+H 组合桩桩端嵌固地层应查明地层结构和整体稳定性；
- 地层的可插拔性和对施工方法的适应性等。

4.3.3 Hat+H 组合桩工程勘察方法、勘察孔布置及深度应根据支挡结构及其影响范围确定，并符合 GB 50021 的要求。

### 4.4 专项技术研究

遇有下列情况时应进行专项技术研究：

- a) Hat+H 组合桩嵌固地层为特殊地层（如膨胀性地层、松散破碎岩层等）；
- b) 采用其他组合形式的组合结构工程。

## 5 材料

### 5.1 一般规定

5.1.1 Hat+H 组合桩中的 H 型钢，其质量应分别符合 GB/T 11263 和 YB 3301 的规定。Hat+H 组合桩及其附属结构所采用的钢板、H 型钢等型材产品的规格、外形、重量及允许偏差应符合国家现行业相关标准的规定。

5.1.2 Hat+H 组合桩中的帽型钢板桩，其质量、钢材牌号、规格及技术要求应分别符合 GB/T 20933、JG/T 196 中关于（热轧）钢板桩的规定。

5.1.3 处于外露环境，且对耐腐蚀有特殊要求或处于侵蚀性介质环境中的帽型钢板桩钢材，可采用 Q355NH 和 Q415NH 牌号的耐候结构钢，其质量应符合 GB/T 4171 的规定。对使用普通钢材制造的帽型钢板桩，当其应用于有特殊耐腐蚀要求的工程，可采用必要的防腐措施。

5.1.4 当采用现行国家标准、行业标准中未列出的其他牌号钢材时，宜按照 GB 50068 进行统计分析，研究确定其设计指标及适用范围。

5.1.5 Hat+H 组合桩中的连接材料的型号及标准应符合 GB 50017 的有关规定。

### 5.2 设计指标与设计参数

5.2.1 Hat+H 组合桩的 H 型钢钢材、焊缝连接、螺栓连接的设计用强度指标，应根据 GB 50017 的规定进行采用。

5.2.2 对于在 GB 50017 中未列出的 Q295P 牌号及国外牌号等钢材，设计用强度指标应根据 GB 50017 中对材料抗力分项系数的要求进行设定。

### 5.3 防腐

#### 5.3.1 一般规定

5.3.1.1 Hat+H 组合桩的防腐措施应根据环境条件、材质、结构形式、使用要求、施工条件、维护管理条件、安全要求等技术经济因素进行综合设计。

5.3.1.2 当 Hat+H 组合桩用于永久结构或者长时间临时支护结构使用时，应考虑 Hat+H 组合桩的腐蚀并进行防腐处理。

5.3.1.3 钢板桩防腐蚀部位划分应符合附录 B 的规定

5.3.1.4 在淡水环境中或土壤环境中，Hat+H 组合桩的防腐蚀可采用腐蚀裕量法。Hat+H 组合桩单面平均腐蚀速度可参照表 5.3.1.4 取值，必要时可现场实测确定。大气中的腐蚀速度一般小于水下（淡水），防腐蚀设计参照现行《工业建筑防腐蚀设计规范》（GB 50046）和 GB/T 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级的规定。

5.3.1.5 在海水环境中，Hat+H 组合桩防腐蚀不宜单独采用腐蚀裕量法。结构防腐蚀设计应符合现行行业标准《水运工程钢结构设计规范》（JTS 152）、《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）和《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153）等的有关规定。

1 大气区的防腐蚀应采用涂层或金属喷涂层保护；浪溅区和水位变动区的防腐蚀宜采用重防蚀涂层或金属热喷涂层加封闭涂层保护，也可采用树脂砂浆或包覆有机复合层、复合耐蚀金属层保护；水下区的防腐蚀可采用阴极保护和涂层联合保护或单独采用阴极保护；泥下区的防腐蚀应采用阴极保护；钢板桩岸侧、锚固桩及拉杆等埋地钢结构的防腐蚀宜采用外加电流阴极保护和涂层联合保护，也可采用牺牲阳极阴极保护和涂层联合保护。

2 采用涂层或阴极保护时，钢板桩设计应留有适当的腐蚀裕量，钢板桩不同部位的单面腐蚀裕量可按5.3.1.5式计算：

$$\Delta\sigma=K[(1-P)t_1+(t-t_1)] \quad (5.3.1.5)$$

式中： $\Delta\sigma$ —钢板桩单面腐蚀裕量（mm）；

$K$ —钢板桩单面平均腐蚀速度（mm/年），碳素钢单面平均腐蚀速度可参照表 5.3.1.5-1 取值，必要时可现场实测确定；

$P$ —保护效率（%），采用涂层保护时，在涂层的使用年限内，保护效率可取 50%~95%；采用阴极保护时，保护效率可按表 5.3.1.5-2 取值；采用阴极保护和涂层联合保护时，保护效率可取 85%~95%；

$t_1$ —防腐蚀措施的设计使用年限（年）；

$t$ —钢板桩的设计使用年限（年）。

表 5.3.1.5-1 在海水环境中，Hat+H 组合桩的单面平均腐蚀速度

部位		单面平均腐蚀速度（mm/年）
大气区		0.05~0.10
浪溅区	有掩护条件	0.20~0.30
	无掩护条件	0.40~0.50
水位变动区、水下区		0.12
泥下区		0.05
注：①表中平均腐蚀速度适用于 PH=4~10 的环境条件，对有严重污染的环境，应适当增大； ②对水质含盐量层次分明的河口区或年平均气温高、波浪大、流速大的环境，应适当增大； ③钢板桩岸侧可参考泥下区取值。		

表 5.3.1.5-2 阴极保护效率

部位	$P$ （%）
水位变动区	$20 \leq P < 90$
水下区	$P \geq 90$

3 海水环境中的钢板桩结构宜减少在浪溅区的表面积，宜采用易于进行防腐蚀施工的结构型式。

4 埋于混凝土桩帽、墩台或胸墙中的钢板桩应做好钢桩之间的电连接，水位变动区以下部位的辅助构件或预埋件应与主体结构进行电连接。

### 5.3.2 表面预处理

5.3.2.1 Hat+H组合桩在涂装之前必须进行表面预处理。

5.3.2.2 Hat+H组合桩在除锈处理前，应清除焊渣、毛刺和飞溅等附着物，并清除基体金属表面可见的油脂和其他污物。

5.3.2.3 Hat+H组合桩在涂装前的除锈等级应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级（GB/T 8923.1）》的有关规定外，还应符合下列规定：

1 热喷锌、喷铝，钢板桩表面处理应达到Sa3级；

2 无机富锌底漆，钢板桩表面处理应达到Sa21/2级~Sa3级；

3 环氧富锌底漆和环氧磷酸锌底漆，钢材表面处理应达到Sa21/2级，不便于喷射除锈的部位，手工和动力工具除锈至St3级。

5.3.2.4 除锈后表面粗糙度可根据涂装系统和涂层厚度按表5.3.2.4选取，并不宜超过涂装系统总干膜厚度的1/3。

表 5.3.2.4 表面粗糙度选择范围

涂装系统	常规防腐涂料	厚浆型重防腐涂料	金属热喷涂
涂层厚度（m）	100~250	400~800	100~300
表面粗糙度（m）	40~70	60~100	40~85

### 5.3.3 涂层保护

5.3.3.1 Hat+H组合桩在涂装之前必须进行表面预处理。

5.3.3.2 涂层设计应综合考虑底涂层与基材的适应性、涂料各层之间的相容性、涂料品种与施工方法的适应性等。同一涂装配套中的底、中和面漆宜选用同一厂家的产品。

5.3.3.3 大气区采用的防腐蚀涂料应具有良好的耐候性。大气区的涂层系统可按《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）表4.3.5选用。

5.3.3.4 浪溅区和水位变动区采用的防腐蚀涂料应能适应干湿交替变化，并应具有耐磨损、耐冲击和耐候的性能。浪溅区和水位变动区的涂层系统可按《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）表4.3.6选用。

5.3.3.5 水下区和水位变动区采用的防腐蚀涂料应能与阴极保护配套，具有较好的耐电位性和耐碱性。水下区的涂层系统可按附录《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）表4.3.7选用。

5.3.3.6 设计使用年限20年以上30年以下的防腐涂装应采用重防腐涂层，涂层系统可按《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）表4.3.8选用。

5.3.3.7 设计使用年限30年以上的防腐技术应根据涂装配套、工艺要求和环境适应性分析确定，可选择包覆厚度不小于1mm的耐腐蚀合金、包覆厚度不小于5mm的热塑性聚乙烯复合包覆层、包覆厚度不小于3mm的环氧玻璃钢包覆层和包缠矿脂胶带防腐系统。

5.3.3.8 设计使用年限10年以上的防腐蚀涂层性能应符合表5.3.3.8的规定。

表 5.3.3.8 设计使用年限 10 年以上的防腐蚀涂层性能

性能	指标	测试方法执行标准
耐盐雾（h）	4000	《色漆和清漆 耐中性盐雾性能的测定》（GB 1771）
耐老化（h）	2000	《漆膜老化（人工加速）测定法》（GB 1865）
耐湿热（h）	4000	《漆膜耐湿热测定法》（GB 1740）
附着力（MPa）	4	《色漆和清漆 拉开法附着力试验》（GB 5210）
耐电位（V）	-1.20	《船舶及海洋工程阳极屏涂料通用技术条件》（GB 7788）
注：①耐电位指标为相对于银/氧化银电极； ②当采用外加电流阴极保护时配套涂层耐阴极电位为-1.50v。		

### 5.3.4 金属热喷涂

5.3.4.1 金属热喷涂保护系统应包括金属喷涂层和封闭层，金属热喷涂和涂料的复合保护系统应在涂料封闭后，涂覆中间漆和面漆。

5.3.4.2 金属热喷涂方法可采用气喷涂或电喷涂法。

5.3.4.3 采用金属热喷涂的Hat+H组合桩表面必须进行喷射或抛射处理，表面清洁度和表面粗糙度应符合本规范第5.3.2.3条～第5.3.2.4条的规定。

5.3.4.4 喷涂用金属材料应符合下列规定：

- 1 锌应符合现行国家标准《镀锌》GB/T 470 中关于 Zn99.99 的质量要求；
- 2 铝应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》GB/T 3190 中对于牌号 1060 的质量要求；
- 3 锌铝合金的金属组成应为锌 85%～87%，铝 13%～15%；
- 4 铝镁合金的金属组成应为镁 4.8%～5.5%，铝 94.5%～95.2%；
- 5 Al 的金属组成应为铝 99.7%～99.9%。

5.3.4.5 采用金属热喷涂层的Hat+H组合桩应与未喷涂的Hat+H组合桩电绝缘或对未喷涂部位实施阴极保护。

5.3.4.6 封闭剂应具有较低的黏度，并应与金属涂层具有良好的相容性。涂层涂料应与封闭层有相容性，并应有良好的耐蚀性。金属热喷涂常用的封闭剂、封闭涂料和涂装涂料可参见附录C。

5.3.4.7 金属热喷涂系统可按《海港工程钢结构防腐技术规程》（JTS 153—3）表4.4.8-1与表4.4.8-2选用，并应符合以下规定。

- 1 热喷涂材料宜选用铝、铝合金或锌合金；
- 2 腐蚀严重和维护困难的部位应增加金属涂层的厚度。

### 5.3.5 阴极保护

5.3.5.1 阴极保护可采用牺牲阳极阴极保护、外加电流阴极保护或两种保护的联合，牺牲阳极阴极保护可适用于电阻率小于 $500\Omega \cdot \text{cm}$ 的海水或淡水中的钢板桩防腐。

5.3.5.2 阴极保护面积应包括水位变动区、水下区和泥下区钢板桩的表面积。计算保护面积应符合现行《港工设施牺牲阳极保护设计和安装》GJB 156A中的相关规定。

5.3.5.3 牺牲阳极的数量和使用寿命可参照《海港工程钢结构防腐技术规程》（JTS 153—3）的相关规定计算确定。

5.3.5.4 牺牲阳极材料应根据环境介质条件和经济因素综合确定，铝合金材料在海泥中应慎用。

5.3.5.5 外加电流阴极保护应包括辅助阳极、直流电源、参比电极、检测设备和电缆。外加电流阴极保护的计算方法和实施方法应符合《海港工程钢结构防腐技术规程》（JTS 153—3）的相关规定。

5.3.5.6 采用阴极保护的钢板桩靠近其他金属结构或附近有杂散电流源，使该钢板桩或相邻的其他金属结构的电位偏正20mV时，应采取有效措施防止杂散电流腐蚀。

5.3.6 Hat+H组合桩防锈和防腐采用的涂料、钢材表面的除锈等级、一级防腐对钢结构的构造要求等，应符合GB 50046的规定。设计文件中应注明所要求的钢材除锈等级和所用涂料或镀层厚度。

## 6 基本规定

### 6.1 一般规定

6.1.1 Hat+H组合桩适用于软土或以粘性土、粉土、砂土为主的支护工程，对存在复杂的杂填土层、碎石土层等特殊土层的支护工程，宜通过现场试验确定其适用性。

6.1.2 Hat+H 组合桩可用于基坑支护、围堰、河道湖泊护岸、码头、堤防工程及（半）地下建筑等工程领域。

6.1.3 在各类工程领域中，Hat+H 组合钢板桩支护结构可用于整个结构体系，也可与其他钢结构、钢筋混凝土结构构件同时使用。

6.1.4 Hat+H 组合桩可作为临时结构，亦可作为永久性结构使用。设计文件应明确支护结构的设计使用年限。若无特殊要求，Hat+H 组合桩支护结构应按临时性支护结构设计。当按永久性支护结构设计时，Hat+H 组合桩应考虑结构抗震、防腐蚀等使用期安全性、适用性、耐久性要求，其勘察、设计、施工、检测、监测等应符合国家现行有关标准的规定；其设计使用年限应不低于被保护的建（构）筑物的设计使用年限，且应明确防腐措施。

6.1.5 Hat+H 组合桩及其附属构件的设计与施工，应综合考虑周边环境限制条件、开挖深度、工程地质与水文地质条件、施工工艺及设备条件、类似工程经验、工期及施工季节等因素。

6.1.6 应保证周边建（构）筑物、地下管线、综合管廊、市政给排水设施、电力管线、道路、堤岸等的安全和正常使用。

6.1.7 Hat+H 组合桩的安全等级和设计使用年限应符合 GB 50068 和 GB 50153 的规定。Hat+H 组合桩的安全等级，应根据结构破坏可能产生后果的严重性，按表 6.1.7 进行划分；除表 1 外的其他使用情形，结构的安全等级应根据具体情况另行确定。

表 6.1.7 Hat+H 组合桩的安全等级

安全等级	破坏后果	示 例
一级	很严重：对人的生命、经济、社会或环境影响很大	支护深基坑（永久或临时）、支护重要保护性建筑地基基础、支护设计使用年限为 100 年的建（构）筑物、支护或用作纪念性建筑和特别重要的建筑结构、支护或用作有特殊安全要求的港口建筑、用作重要河流护岸等
二级	严重：对人的生命、经济、社会或环境影响较大	支护浅基坑（永久）、支护普通建筑地基基础、支护或用作永久性建筑物、用作围堰、用作一般河流护岸等
三级	不严重：对人的生命、经济、社会或环境影响较小	支护浅基坑（临时）、临时小型工程
注：Hat+H 组合桩围堰结构的安全等级还应符合 6.3.5 节规定。		

6.1.8 Hat+H 组合桩用于基坑支护时，应依据 DB42/T 159—2012 中 4.0.1 节的相关规定进行基坑的重要性等级划分。

6.1.9 Hat+H 组合桩的设计基准期应为 50 年。当用作铁路桥涵、公路桥涵的永久性支护结构时，Hat+H 组合桩的设计基准期应为 100 年。

6.1.10 Hat+H 组合桩的设计使用年限，应符合表 6.1.10 的要求。Hat+H 组合桩在使用时应明确其防腐措施。

表 6.1.10 Hat+H 组合桩的设计年限

类 别	设计使用年限（年）	示 例
1	临时使用的年限或 5~10	临时性支护、用作临时性建筑物、用作围堰
2	25	用作易于替换的结构构件
3	50	支护或用作永久性建筑物
4	100	支护或用作纪念性建筑和特别重要的建筑结构、作为铁（公）路桥涵结构的永久性支护结构
注：当作为支护结构时，Hat+H组合桩及其附属构件的设计使用年限应不低于被支（保）护对象结构的设计使用年限。		

6.1.11 Hat+H 组合桩设计时应对环境影响进行评估，当结构所处的环境对其耐久性有较大影响时，设计单位应与材料供应商研究制定专门防腐措施。

6.1.12 Hat+H 组合桩设计应对材料性能、耐久性措施提出要求，并对施工、检测、使用和维护等提出要求。Hat+H 组合桩应按所处的环境条件、设计使用年限和结构特点等进行耐久性设计，并应符合 GB 50017 的规定。环境对 Hat+H 组合桩耐久性的影响，可根据工程经验、试验研究、计算或综合分析等方法进行评估。Hat+H 组合桩的耐久性设计应包括下列内容：

- a) 结构的设计使用年限；
- b) 钢结构防腐蚀耐久性设计；
- c) 附属结构构件的防腐蚀、抗冻、抗渗等耐久性设计；
- d) 使用过程中正常维护的内容和要求；特殊重要的结构或处于严重侵蚀环境下的结构的定期检测要求等。
- e) 对有特殊要求的工程结构，当 Hat+H 组合桩裸露在外时，设计可考虑设置混凝土保护层。

6.1.13 对于锁口止水性能要求高的工程，设计时应采用热轧帽型钢板桩。

6.1.14 Hat+H 组合桩的拼接形式和桩长设计应综合考虑结构用途、使用环境与服务期限、周边环境及其对变形的适应能力等因素，结构变形限值、周边环境变形限值均应满足正常使用要求。Hat+H 组合桩用作一、二级重要性等级的基坑支护结构时，应进行结构变形和坑壁位移计算，变形控制应符合 DB42/T 159 中 4.0.7 节的相关规定；用于三级重要性等级的基坑支护结构时可不进行变形计算，但应进行水平位移的监测。

6.1.15 Hat+H 组合桩设计应考虑到施工结束后钢板桩拔除对周围环境的不利影响，必要时通过注浆等手段填充拔桩孔隙。

## 6.2 结构体系及结构选型

6.2.1 进行 Hat+H 组合钢板桩支护结构设计时，根据不同约束类型，可采用悬臂式、桩锚式、桩撑式等结构形式，见图 6.2.1。

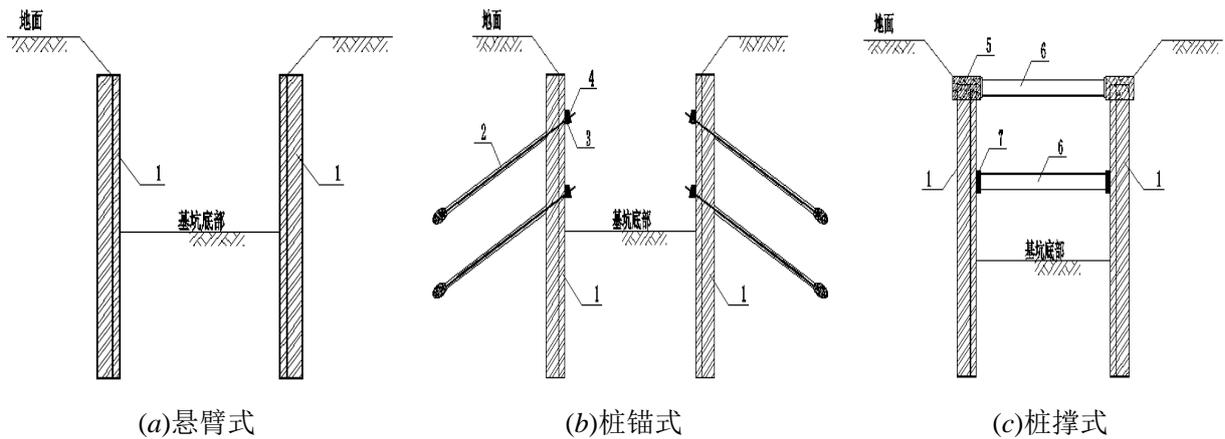


图 6.2.1-1 Hat+H 组合桩约束形式

1——Hat+H组合桩；2——锚杆；3——围檩/腰梁；4——夹具垫片；  
5——钢筋混凝土冠梁；6——支撑；7——围檩

6.2.2 Hat+H 组合桩的整体结构形式，根据工程领域、使用要求、荷载、工程经济等情况，可采用线形、围筒形等结构形式，并根据工程实际结合支撑、锚杆等附属构件一并使用。附属构件可用于施工阶段临时支撑，也可用作永久性结构构件。

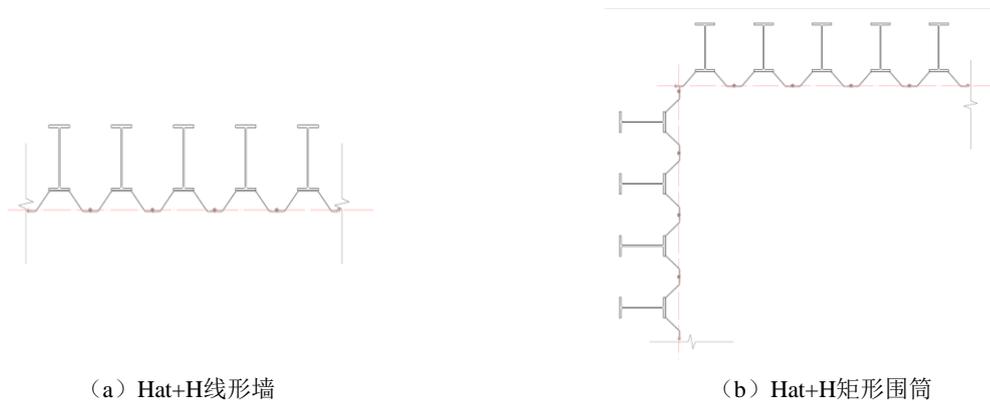


图 6.2.1-2 Hat+H 组合桩形式

6.2.3 Hat+H 组合桩设计时，可根据荷载、结构应力、工程经济等情况，在基本单元结构上增加支撑、锚杆、围檩、冠梁等附属结构构件，并应符合下列规定：

- a) 在粉土、粉细砂层中有承压水时，宜采用不拔管的一次性锚杆。根据变形控制要求，可分别选用预应力锚杆、非预应力锚杆；
- b) 如冠梁与顶撑、角撑、拉锚等传力构件连接，则应按受力构件设计，否则只需按构造要求配筋。钢筋混凝土冠梁的构造要求，应符合 DB42/T 159 中 6.3.3 节第 2 条的要求；
- c) 围檩以及锚头中的各部件应根据设计锚固力制作或选用型钢或标准件。

6.2.4 Hat+H 组合桩之间的连接，根据工程领域、使用要求、荷载、工程经济等情况，可采用连续或间隔拼接等结构形式。当采用 Hat+H 组合方筒的结构形式时，转角处可采用特制的转角钢板桩或通过切割、焊接钢板桩成异形钢板桩而进行转角连接，转角处钢板桩组合结构性能需满足受力及稳定等需要。

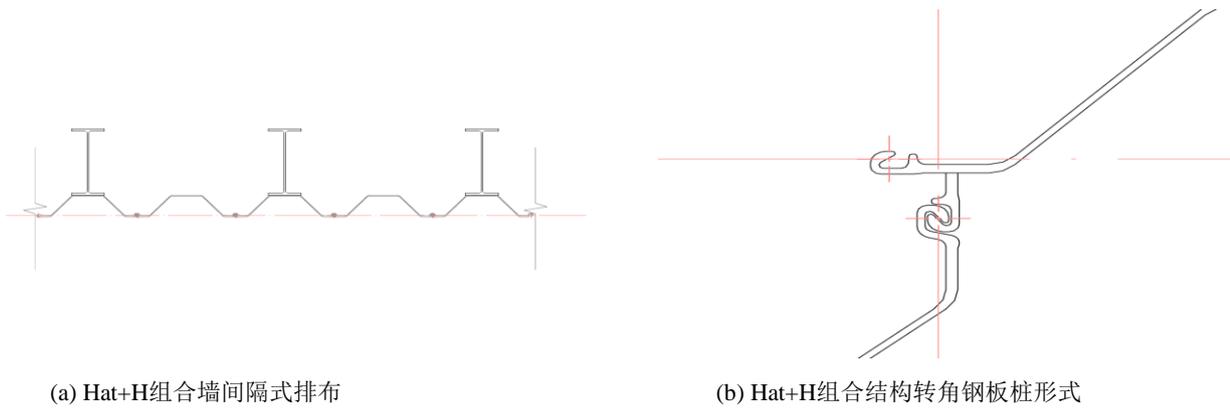


图 6.2.4 Hat+H 组合桩形式

6.2.5 悬臂式 Hat+H 组合桩的悬臂高度不宜超过 6m，对深度大于 6m 的基坑可结合 Hat+H 组合桩顶以上放坡卸载使用；嵌固端的地层为老粘性土、密实卵砾石且桩身截面尺寸较大时，悬臂高度应经计算确定是否可超过 6m。

6.2.6 桩锚式 Hat+H 组合桩体系，根据支护深度和土质条件，锚杆可设置一层或多层，其锚固段宜避开淤泥、淤泥质土，置于较好的粘性土、粉土或粉细砂层中，且应注意避开浅部的地下设施。根据土质和施工条件可选用灌浆锚杆、螺旋锚杆等不同锚型。

6.2.7 Hat+H 组合桩的内支撑形式，可参考 DB42/T 159 中的相关规定，且应符合项目所在地相关技术规定。

### 6.3 设计计算原理

6.3.1 Hat+H 组合桩构件应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计：

- a) 承载能力极限状态应包括：构件或连接的强度破坏、脆性断裂，因过度变形而不适用于继续承载，结构或构件丧失稳定，结构转变为机动体系和结构倾覆；
- b) 正常使用极限状态应包括：影响结构、构件、非结构构件正常使用或外观的变形，影响正常使用的振动以及影响正常使用或耐久性能的局部损坏。

6.3.2 Hat+H 组合桩构件、连接及节点应采用承载能力极限状态设计，并应符合下列规定：

1) 临时性结构：

a) 确定支护结构（桩墙、锚杆、支撑等）截面尺寸及配筋和验算材料强度时，荷载效应应采用承载能力极限状态下作用的基本组合。其基本组合的效应设计值  $S$  采用式 6.3.2-1 所示简化：

$$S = 1.35\psi_t S_k \leq R \quad (6.3.2-1)$$

式中：

$R$ ——结构构件抗力的设计值，按有关建筑结构设计规范的规定确定；

$S_k$ ——承载能力极限状态下荷载组合的效应标准值；

$\psi_t$ ——临时性支护结构调整系数，对一、二、三级基坑重要性等级分别取 1.0、0.95、0.90。

b) 验算基坑支护结构、周边建筑物及地面的水平位移和沉降时，荷载效应应采用正常使用极限状态下作用的准永久组合，相应的限值应为支护结构、周边建筑物及地面水平位移和沉降变形允许值。准永久组合值系数取 1.0。其准永久组合的效应设计值  $S_d$  采用式 5.3.2-2 进行验算：

$$S_d \leq C \quad (6.3.2-2)$$

式中：

$S_d$ ——正常使用极限状态下荷载组合的效应设计值（水平位移和沉降变形等）；

$C$ ——支护结构、周边建筑物及地面水平位移和沉降变形的限值；

2) 永久性结构：

永久性结构建筑或构件采用 Hat+H 组合桩时，其承载能力极限状态设计表达式：

c) 持久设计状况、短暂设计状况：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (6.3.2-3)$$

d) 地震设计状况：

多遇地震：

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (6.3.2-4)$$

设防地震：

$$S \leq R_k \quad (6.3.3-5)$$

式中：

$\gamma_0$ ——结构的重要性系数：对安全等级为一级的结构构件不应小于 1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0，对安全等级为三级的结构构件不应小于 0.9；

$S$ ——承载能力极限状况下作用组合的效应设计值：对持久或短暂设计状况应按作用的基本组合计算；对地震设计状况应按作用的地震组合计算；

$R$ ——结构构件的承载力设计值；

$R_k$ ——结构构件的承载力标准值；

$\gamma_{RE}$ ——承载力抗震调整系数，应按现行 GB 50011 的规定取值。

6.3.3 采用 Hat+H 组合桩构件作为主要抗侧力结构的（半）地下建筑，其结构最大适用高度应符合现行帽型钢板桩的长度规格、结构验算以及使用功能要求。

## 7 支护结构设计

### 7.1 一般规定

7.1.1 Hat+H 组合桩设计时需考虑下列因素：

- 结构受力所需截面模量、惯性矩等力学特性；
- 结构变形协调性等，包括对结构连接方面的要求；
- 组合结构运输、堆放、焊接或连接、沉桩、桩锤改造等因素。

7.1.2 当侧向荷载较大时，Hat+H 组合桩体系宜采用内支撑、桩锚等辅助构件。

7.1.3 Hat+H 组合桩应用于特别复杂、不规则的结构体系，应结合工程具体情况进行结构分析，采用合理的平面布置形式。应提请专项讨论研究。

### 7.2 基坑支护

7.2.1 Hat+H 组合桩基坑工程设计应包括下列内容：

- 支护结构方案选型与技术经济比较；
- 基坑内外土体稳定性验算；

- c) 支护结构的强度、稳定性和变形计算；
- d) 沉桩阻力、拔桩阻力计算；
- e) 基坑降水、隔渗的设计；
- f) 基坑开挖与地下水变化引起的土体变形对基坑内外环境影响的评估；
- g) 支护结构施工、土方开挖及环境监测的设计要求；
- h) 基坑工程施工图。

#### 7.2.2 Hat+H 组合桩基坑工程设计前应取得下列资料：

- a) 用地和建筑红线图、场区地形图及地下工程结构施工图（含桩位图、承台图等）；
- b) 场地岩土工程勘察报告。当地下水对基坑工程有影响时应提供水文地质勘察报告；
- c) 基坑周围环境资料；
- d) 相邻地下工程施工情况和经验性资料；
- e) 基础施工对基坑支护设计的要求；
- f) 基坑周边的地面堆载和活荷载（动、静）；
- g) 钢板桩构件材料的受力性状和截面几何参数。

7.2.3 Hat+H 组合桩支护结构设计应考虑到施工结束后钢板桩拔除对周围环境的不利影响，必要时通过边拔边注浆回填等措施及时将拔桩后空隙填充密实。

7.2.4 钢板桩的平面布置应尽量平直整齐。组合型钢板桩宜使帽型钢板桩位于基坑迎坑侧，H 型钢位于基坑迎土侧。

7.2.5 Hat+H 组合钢板桩支护结构利用帽型钢板桩发挥止水功能，当工程止水性要求较高时，可在沉桩前于锁口内嵌填黄油、沥青或其他密封止水材料。热轧帽型钢板桩锁口止水效果优于冷弯帽型钢板桩。当对锁口防渗要求高时，宜采用热轧帽型钢板桩，或在坑外另行设置截水帷幕。

7.2.6 Hat+H 组合桩宜采用 H 型钢和帽型钢不等长设计。可根据水位地质情况及项目降水设计要求，调整此长度。桩顶 H 型钢宜比帽型钢长一个冠梁高度以上，即帽型钢不进入冠梁内。

7.2.7 Hat+H 组合桩支护结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。支护结构设计采用的作用效应最不利组合和相应的抗力限值，应按 6.3.2 节进行计算。

7.2.8 Hat+H 组合桩钢板桩支护结构内力设计值应按式 7.2.8 计算确定。

$$M=1.3\cdot\psi_t\cdot M_k \quad (7.2.8-1)$$

$$V=1.35\cdot\psi_t\cdot V_k \quad (7.2.8-2)$$

$$N=1.35\cdot\psi_t\cdot\xi\cdot N_k \quad (7.2.8-3)$$

式中：

M——弯矩设计值，kN·m；

$\psi_t$ ——临时性支护结构调整系数，对一、二、三级基坑重要性等级分别取1.0、0.95、0.90；

$M_k$ ——弯矩标准值，kN·m；

V——剪力设计值，kN/m；

$V_k$ ——剪力标准值，kN/m；

$N$ ——轴力拉力或轴向压力设计值，kN；

$N_K$ ——轴力拉力或轴向压力标准值，kN；

$\xi$ ——钢板桩重复利用折减系数。对于首次使用的新钢板桩，取值1.0；对于重复使用的旧钢板桩，宜通过断面测量后的实际断面进行计算；无相关数据经验时，根据重复利用次数，可取值0.85—0.90；

7.2.9 Hat+H 组合桩基坑支护计算宜采用弹性抗力法（如图 7.2.9 所示）或其它能考虑支护结构与土体共同作用的方法。计算内容包括桩身内力、锚杆力（支撑力）和桩的变形，并应符合 DB42/T 159 中第 6 章关于排桩计算的有关要求。

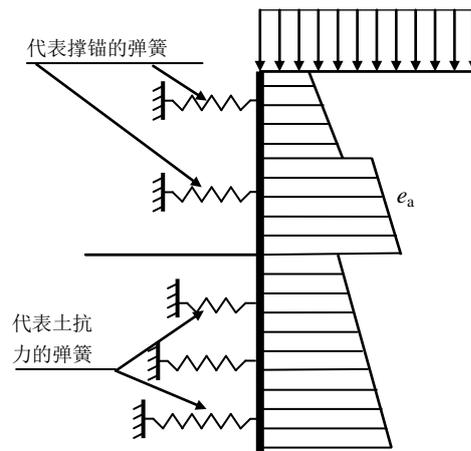


图7.2.9 弹性抗力法计算模型

7.2.10 弹性抗力法被动区土抗力弹簧的水平反力系数可按 7.2.10 公式计算：

$$k_h = m(z - h_0) \quad (7.2.10)$$

式中：

$m$ ——土的水平反力系数的比例系数（kN/m<sup>4</sup>），对多层土，按不同土层分别取值；

$z$ ——计算点距地面的深度（m）；

$h_0$ ——计算工况下的基坑开挖深度（m）。

7.2.11 对于桩撑式 Hat+H 组合桩，可将支护结构与内支撑分开计算，内支撑可按平面结构进行计算，并应考虑桩和内支撑之间的相互变形协调。

7.2.12 Hat+H 组合桩应用于圆形基坑时，宜通过空间结构分析方法对支护结构进行整体分析。

7.2.13 支护结构形式复杂，无法简化为图 7.2.9 的弹性抗力法计算模型时，在有可靠经验的前提下，可考虑采用数值计算方法对钢板桩墙和土体进行整体分析。

7.2.14 Hat+H 组合型钢板桩基坑支护设计中的荷载与作用应包括下列内容：

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

- e) 需要时,宜结合工程经验,考虑温度变化、混凝土收缩与徐变、土体开挖后的应力释放、浸水或失水后的性状变化(特别是膨胀性的岩土)以及施工爆破、打桩振动、挤土等作用对支护结构产生的影响;
- f) 支护结构作为永久性结构使用时,尚应考虑相关规定的荷载与作用及抗震要求。

7.2.15 Hat+H 组合桩支护设计中的荷载计算方法,包括土、水压力计算、土体抗剪强度指标选用、突涌和管涌验算、各种超载计算等应符合 DB42/T 159 中 6.2 节的有关要求。

7.2.16 钢板桩支护结构应根据基坑开挖过程施工工况进行设计计算,且应按各施工工况的最大内力值和支点力值进行构件承载力计算。

7.2.17 钢板桩支护结构的承载能力计算应根据本规程第 6.2.9 条确定结构构件的内力设计值,主要包括钢板桩弯矩、剪力设计值和锚拉、支撑结构的轴力设计值。

7.2.18 钢板桩抗弯承载能力计算可按 7.2.18 公式进行计算,分别验算帽型桩最外缘和 H 型钢最外缘的应力:

$$\sigma = \frac{M}{\beta \xi W_z} + \frac{N}{A} \leq [f] \quad (7.2.18)$$

式中:

$\sigma$ ——钢板桩截面计算应力, N/mm<sup>2</sup>;

$M$ ——截面弯矩设计值, kN m;

$\beta$ ——钢板桩锁口连接状态导致的截面性能折减系数,取值 1.0

$W_z$ ——截面模量, mm<sup>3</sup>/m, 应分别取组合结构中中性轴至 H 型钢边缘的截面模量和该中性轴至帽型钢板桩边缘的截面模量进行验算,其取值参见本规范附表。

$\xi$ ——钢板桩重复利用折服系数,对于首次使用的新钢板桩,取值 1.0,对于重复使用的旧钢板桩,根据重复利用次数,参考取值 0.85~0.95;

$[f]$ ——钢板桩强度设计值, N/mm<sup>2</sup>;

7.2.19 钢板桩及腰梁等配套钢构件的抗剪承载能力计算应符合 GB 50017 的相关规定。

7.2.20 钢板桩支护结构使用的锚拉结构,其设计计算和施工方法应符合 DB42/T 159 中 6.4 节、8.6 节的有关要求。

7.2.21 钢板桩支护结构使用的支撑结构,其设计计算和施工方法应符合 DB42/T159 中 6.9 节、8.8 节的有关要求。

7.2.22 基坑向内凸出的阳角应设置可靠的双向约束。地质条件复杂或周边环境条件复杂时可在阳角部位采取地层改良措施或其他可靠措施。

7.2.23 采用桩撑结构的组合型钢板桩基坑,第一道支撑宜与冠梁直接连接。对于第二道支撑及以下的支撑,宜采取措施,使支撑轴力传于 H 型钢。腰梁如采用双拼型钢等钢腰梁,可在腰梁与钢板桩迎坑面直接浇筑细石混凝土。

### 7.3 围堰

7.3.1 Hat+H 组合桩用于围堰时，应根据 GB 50153 规定的设计原则，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，按分项系数的设计表达式进行设计。

7.3.2 Hat+H 组合桩围堰工程实施前应研究主体工程的设计和地形地质及水文勘察资料，并进行必要的补充勘察和现场调查及相关资料的收集。

7.3.3 Hat+H 组合桩围堰应保证围堰内主体结构的施工方便与安全。

7.3.4 Hat+H 组合桩围堰工程应根据主体工程实际情况进行专项设计，并应根据主体结构的施工工期规定其设计使用年限。

7.3.5 Hat+H 组合桩围堰结构安全等级划分应符合表 7.3.5 的规定。

表 7.3.5 Hat+H 组合桩围堰安全等级划分

围堰安全等级	主体工程安全等级	平面尺寸 A(m <sup>2</sup> )	围堰高度 H(m)	围堰水深 hw (m)	围堰深度范围 砂层、淤泥层 厚度 hs (m)	使用年限 (年)	失事后果
一级	一级	A≥500	H≥10	hw≥8	hs≥5	>2	特别严重
二级	一级或 二级	100≤A<500	5≤H<10	4≤hw<8	3≤hs<5	1≤H≤2	严重
三级	三级	A<100	H<5	hw<4	hs<3	<1	一般

注：钢围堰结构安全等级按主体工程安全等级、围堰规模、水文地质条件、使用年限及失事后果等所确定等级中的最高级别定级；当二级、三级围堰有特殊要求而采取新型结构时，其结构设计级别可提高一级。

7.3.6 Hat+H 组合桩围堰设计时，水位、风、波浪重现期及设计波高累积频率应符合表 7.3.6 的规定。

表 7.3.6 Hat+H 组合桩围堰风、波浪及水位重现期

水位重现期间 (a)	风重现期 (a)	波浪重期间 (a)	设计波高累积频率标准 F(%)
20	20	20	5

注：水位、风、波浪重现期、设计波高累积频率可结合实际工程重要性、施工工期长短、施工具体季节、气象复杂程度、失事后果严重性进行专题论证后确定。

7.3.7 Hat+H 组合桩围堰施工时应建立健全质量管理体系，制订各项施工管理制度。

7.3.8 Hat+H 组合桩围堰施工及使用期间应进行监测。

7.3.9 Hat+H 组合桩围堰工程应根据设计文件及主体工程的施工组织设计编制专项施工方案，并应经审批后方可实施。

7.3.10 Hat+H 组合桩围堰的一般规定、方案设计、设计计算、结构分析、稳定性验算、构件计算、构造设计各内容，应符合 GB/T 51295 第 4.1~4.7 节的规定。

## 7.4 防波堤与护岸

7.4.1 Hat+H 组合桩可作为桩式直立堤的备用选型。

7.4.2 Hat+H 组合桩防波堤的设计波浪重现期应采用 50 年，特殊情况或大水深、重要性建筑物设计波浪重现期应采用 100 年或以上。设计波高累积频率应按表 7.4.2 采用，且设计波高应均不超过浅水极限波高。

表 7.4.2 Hat+H 组合桩防波堤设计波高累积频率

设计内容	设计波高累积频率
确定断面主尺度	1%
波浪力计算	1%
抗倾和抗滑稳定性验算	1%
明基床护肩、护坡、护底结构稳定性验算	5%

7.4.3 Hat+H 组合桩防波堤（图 7.4.3）可由 Hat+H 组合桩墙和冠梁等构件组成，必要时设置锚桩等构件。

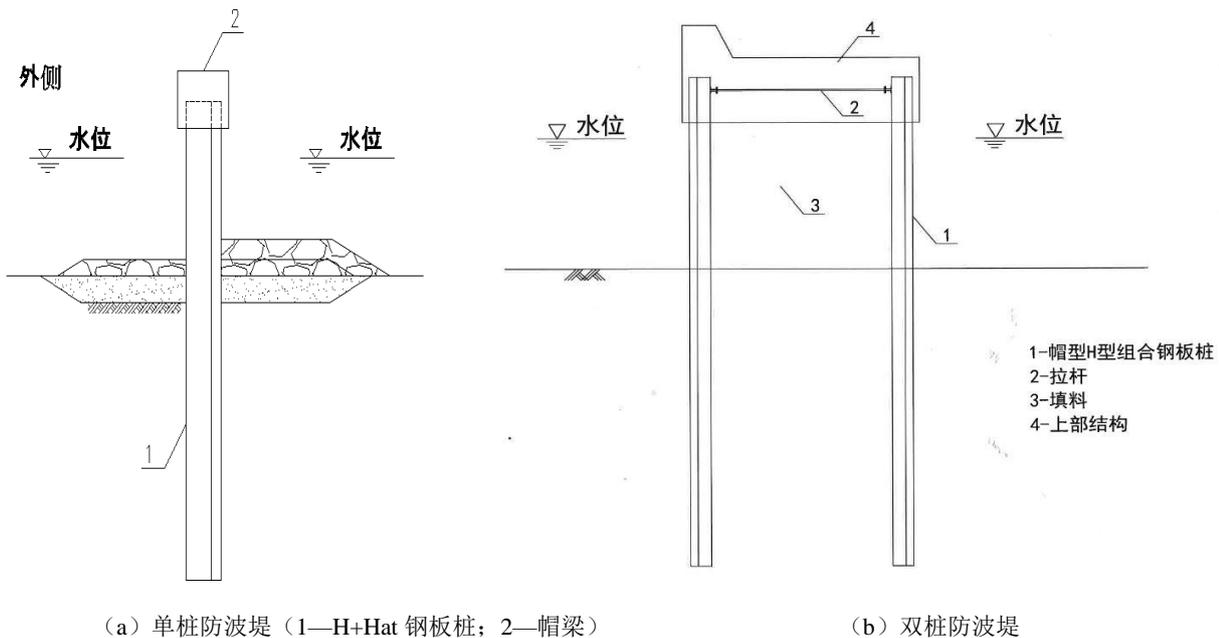


图 7.4.3 Hat+H 组合桩防波堤断面型式

7.4.4 Hat+H 组合桩防波堤中桩的入土深度和稳定性计算应考虑足够的冲刷深度，并应采取相应的防冲刷措施。

7.4.5 在进行桩身应力计算时，应考虑波浪动荷载作用的影响。

7.4.6 Hat+H 组合桩防波堤桩的入土深度和强度等计算，应符合 JTS 167 的规定。

## 7.5 码头

7.5.1 Hat+H 组合钢板桩支护结构可用于板桩码头的前墙及锚碇结构中。码头整体结构选型、锚碇结构设计应符合 JTS 167—2018 第 6.1.1、6.1.3 节的相关规定。

7.5.2 Hat+H 组合桩前墙的“踢脚”稳定性应按承载能力极限状态设计。

7.5.3 Hat+H 组合桩用于海港板桩码头前墙时，其剩余水头、剩余水压力、土压力强度标准值、土料参数等的设计要求应符合 JTS 167—2018 第 6.1.9~6.1.15 节的相关规定。

7.5.4 Hat+H 组合桩前墙计算应考虑码头前沿挖泥超深的影响，码头前沿挖泥超深范围应符合 JTS 167—2018 第 6.1.16 节的规定。

7.5.5 Hat+H 组合桩应用于海港码头时，宜将胸墙底面高程设计在较低水位处，并考虑施工条件。

7.5.6 Hat+H 组合桩前墙、钢拉杆、钢导梁及其附件的耐久性设计及前墙填料要求，应符合 JTS 167—2018 第 6.1.18~6.1.20 节的规定。

7.5.7 Hat+H 组合桩前墙转角桩的构造要求应符合 5.2.5 节的规定。

7.5.8 板桩码头采用 Hat+H 组合桩前墙时，其结构体系中的拉杆、锚碇、帽梁、导梁、胸墙等附属结构的构造要求应符合 JTS 167—2018 的相关规定。

7.5.9 Hat+H 组合桩前墙的设计计算，应符合 JTS 167—2018 第 6.3 节的规定。

7.5.10 Hat+H 组合桩应用于码头时，其结构耐久性设计要求、防腐蚀要求、防腐蚀部位的划分应符合 JTS 167—2018 第 3.4.3~3.4.5 节的相关规定。

## 7.6 （半）地下建筑结构

7.6.1 Hat+H 组合桩作为支护结构，其与主体结构结合可采用下列形式：

- a) （半）地下建筑的外墙与 Hat+H 组合墙体相结合，即将 Hat+H 组合墙体作为（半）地下建筑的外墙；
- b) （半）地下建筑的水平构件与 Hat+H 组合桩的内支撑系统相结合。

7.6.2 采用 Hat+H 组合桩与（半）地下建筑相结合的设计应符合下列规定：

- a) Hat+H 组合桩在基坑开挖阶段应根据 6.3.2 节的规定进行设计计算和验算，在永久使用阶段应根据相关规范满足主体结构的设计要求；
- b) 基坑开挖阶段坑外压力采用主动土压力，永久使用阶段坑外土压力采用静止土压力；
- c) 支护结构相关构件的节点连接、变形协调与防水构造应满足主体工程的设计要求。

7.6.3 采用 Hat+H 组合桩作为（半）地下建筑的外墙时，Hat+H 组合墙体与（半）地下建筑的水平构件的连接及防水结构应符合下列规定：

- a) Hat+H 组合墙体顶部宜设置钢筋混凝土冠梁，冠梁内可预埋钢筋、钢筋接驳器、锚板和剪力槽等，预埋钢筋直径不宜大于 20mm，并采用 HPB300 级钢筋；需连接的主体结构构件钢筋直径大于 20mm 时，宜采用预埋钢筋接驳器连接；
- b) Hat+H 组合墙体与地下结构梁板之间宜设置贯通的结构环梁，结构环梁宜通过预埋钢筋接驳器、剪力槽等方式与基础底板连接；结构环梁与地下结构边柱、结构墙宜通过预留插筋或钢筋接驳器的方式连接；

- c) 主体结构的沉降后浇带延伸至 Hat+H 组合墙体位置时，宜在对应沉降后浇带位置留设槽段分缝；分缝位置应采取可靠的止水措施；
- d) 槽段施工接头外侧可设置高压喷射注浆、接缝处预埋注浆管等防渗构造措施；内侧宜设置扶壁式构造柱或框架柱、排水沟结合构造墙体或钢筋混凝土内衬墙结合防水材料、排水管等的防渗措施；
- e) Hat+H 组合墙体与主体结构连接的接缝位置可根据地下结构的防水等级要求，设置刚性止水片、遇水膨胀橡胶止水条或预埋注浆管等构造措施。

7.6.4 采用 Hat+H 组合桩的内支撑系统作为地下建筑的水平构件时，该内支撑系统宜采用钢梁—组合楼盖结构或无梁楼盖结构。设计计算时，内支撑系统尚应考虑地下建筑内的垂直交通结构的静荷载与动荷载。

- 1) 采用 Hat+H 组合桩的（半）地下建筑，其抗震设计的一般规定、计算要点及构造要求，均应符合 GB 50011 的相关规定。

## 7.7 嵌固深度计算

7.7.1 采用弹性抗力法计算时，Hat+H 组合桩的嵌固深度应满足被动区抗力安全系数的要求。被动区抗力安全系数不满足要求时，应加大桩长重新验算。被动区抗力安全系数按式 7.7.1 计算确定。

$$e_{ptk} = k_h \Delta x \quad (7.7.1-1)$$

$$E_{ptk} \leq E_p / k_{tk} \quad (7.7.1-2)$$

式中：

$e_{ptk}$ ——按弹性抗力法计算的被动区抗力，kPa；

$k_h$ ——水平向基床系数，按“*m*”法确定，kPa/m；

$\Delta x$ ——支护结构的水平位移，m）；

$E_{ptk}$ ——支护结构嵌入深度范围内被动区抗力合力（抗力反向时取绝对值求和），kN；

$E_p$ ——支护结构嵌入深度范围内的被动土压力合力，kN；

$k_{tk}$ ——被动区抗力安全系数，对于悬臂结构，不应小于 1.50；对于单支点结构，不应小于 1.20；对于多支点结构，不应小于 1.05。

钢板桩的嵌固深度除满足本规程 7.7.1 条的要求外，对于悬臂式组合型钢板桩，在土层中，当计算确定的嵌入深度小于 0.5H 时，应取 0.5H（H 为计算开挖深度）；对于桩撑（桩锚）式组合型钢板桩，在土层中，如计算嵌入深度小于 0.3H，应取 0.3H（H 为计算开挖深度）。

7.7.2 在深厚软弱土层中，如计算嵌入深度大于按“*m*”法计算的弹性长桩的特征深度  $4/\alpha$ ，可取  $4/\alpha$  为设计嵌入深度，但应考虑是否需要对被动区土体采取加固措施；

$$\alpha = (mh_0/EI)^{0.2} \quad (7.7.2)$$

式中：

$\alpha$ ——桩的变形系数；

- m——土的水平反力系数的比例系数，kN/m<sup>4</sup>；
- z——计算点距地面的深度，m；
- h<sub>0</sub>——计算工况下的基坑开挖深度，m。

桩底如仍存在软弱土层，尚应按进行整体稳定性和桩底抗隆起验算。

### 7.8 稳定性设计

7.8.1 支护桩（墙）的底部仍有软弱土层或夹层时（图 5），应按式 7.8.1 进行桩（墙）底抗隆起稳定性验算及通过桩、墙底以下土层的圆弧或非圆弧滑动面整体稳定性验算。

$$\gamma_a H_d + q_0 \leq \left[ \gamma_p h_d \cdot N_q + c_k (N_q - 1) \cot \varphi_k \right] \frac{1}{k_{lq}} \tag{7.8.1}$$

式中：

- k<sub>lq</sub>——坑底抗隆起安全系数,不应小于1.80；
- γ<sub>a</sub>、γ<sub>p</sub>——分别为主动侧、被动侧土层的加权平均重度；
- c<sub>k</sub>、φ<sub>k</sub>——桩（墙）底部土层的抗剪强度指标标准值；
- N<sub>q</sub>——承载力系数；

$$N_q = k_p e^{\pi \tan \varphi_k}$$

$$k_p = \tan^2 (45^\circ + \varphi_k / 2)$$

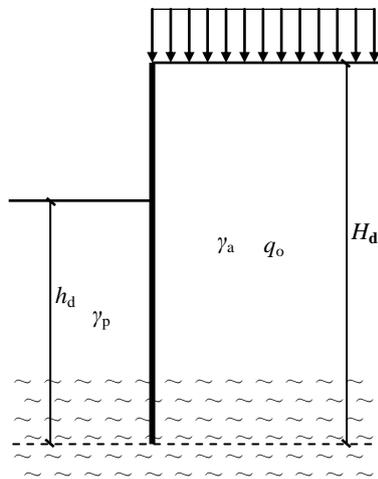


图 7.8.1 桩底隆起稳定性验算

### 7.9 内支撑

7.9.1 临时性 Hat+H 组合桩悬臂较长、侧向荷载较大时，宜采用内支撑体系。

7.9.2 Hat+H 组合桩的内支撑系统，当不考虑平面外受力情况时，可按平面结构进行计算，并应考虑桩和内支撑之间的变形协调。

7.9.3 主要承受水平荷载的 Hat+H 组合桩内支撑，其结构布置、内力计算、构造要求等应符合 DB 159—2012 第 6.9~6.10 节及 GB 50017 的相关规定。

7.9.4 兼作（半）地下建筑结构水平构件的永久性内支撑系统，宜按设计要求布置水平构件；其受弯、稳定、支座、节点设计计算、施工和质量检验均应符合 GB 50017 的相关规定。

## 7.10 冠梁（围檩）

7.10.1 Hat+H 组合桩的冠梁(围檩)应按以支撑点为支座的多跨连续梁计算或采用有限元法进行计算，且应进行抗弯、抗剪及局部抗压的验算。围檩应贴合 Hat+H 组合钢板桩支护结构，其间如存在间隙应灌以细石混凝土填充，宜兼用防腐措施。

## 7.11 连接

7.11.1 Hat+H 组合桩中钢构件的连接，应根据施工环境条件和作用力的性质选择其连接方法。

7.11.2 Hat+H 组合桩中钢构件连接的一般规定、内力计算及构造要求均应符合国家现行标准 GB 50017 第 11 章的相关规定。

## 7.12 节点

7.12.1 Hat+H 组合桩中钢结构的节点设计，其一般规定、内力计算及构造要求均应符合 GB 50017 第 12 章的相关规定。

## 8 构造要求

### 8.1 一般规定

8.1.1 Hat+H 组合桩的基本结构单元，由热轧宽幅帽型钢板桩和 H 型钢连接组成，其连接的规定与计算要求应符合 GB 50017 的相关规定。在 Hat+H 组合桩的基本结构单元中，热轧宽幅帽型（Hat）钢板桩和 H 型钢各自的构件长度，可根据荷载情况、工程实际调整。

8.1.2 采用螺栓连接方式的 Hat+H 组合桩型，不应用于涉水工程。

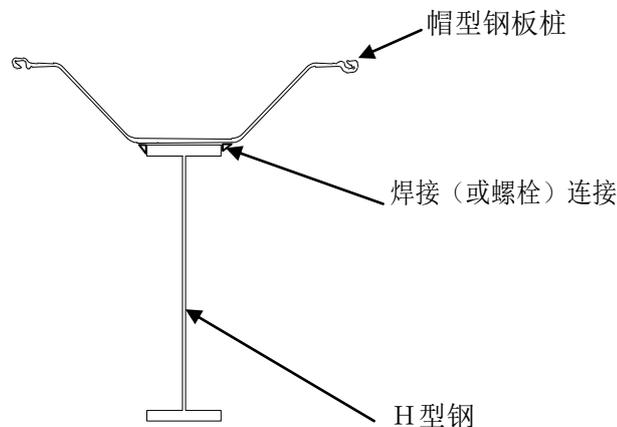


图 8.1.2 Hat+H 组合桩结构形式

8.1.3 Hat+H 组合桩由多种类型的帽型钢板桩和具有多种类型的 H 型钢组合而成。

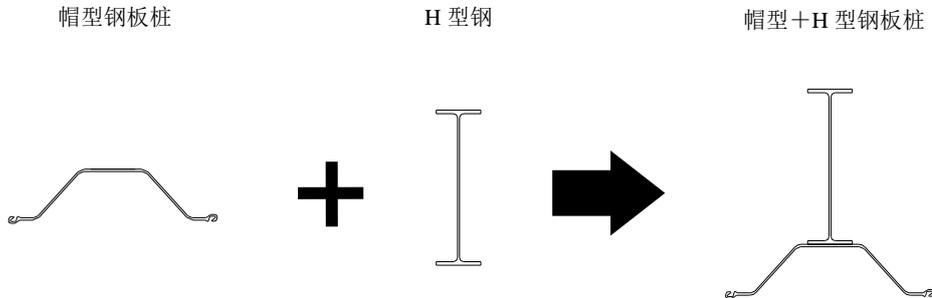


图 8.1.3 Hat+H 组合桩构造基本概念图

8.1.4 Hat+H 组合桩组合形式如图 6 所示。

8.1.5 Hat+H 组合桩结构规格见本规范附录 A。

8.1.6 组合钢板桩的顶部，当采用悬臂桩时，宜设置冠梁；当采用内支撑或外锚时，应设置完整、封闭冠梁。冠梁可采用型钢、组合型钢、钢筋混凝土梁，并与支锚体系连成整体。当采用多道支撑或外锚设计时，冠梁应采用钢筋混凝土梁。冠梁强度等级应不低于 C25。钢冠梁、钢腰梁的安装应符合 GB 50205 的相关规定。

8.1.7 Hat+H 组合桩冠梁宜使用钢筋混凝土结构，其竖向厚度不宜低于 500mm。平面上外包桩体并突出 50mm~100mm，每侧配筋率不宜小于 0.3%。

8.1.8 腰梁可采用双拼 H 型钢、槽钢等连续布置，可采用高强度螺栓连接或焊接的拼接方式，且应由设计计算确定且满足等强度连接。现场拼接点宜设在腰梁计算跨度的三分点处，且应尽量减少接头数量。钢腰梁应采用托架（或牛腿）与组合型钢板钢连接。连接构件的规格与布置应根据腰梁和支撑的自重等因素由计算确定。

8.1.9 当钢支撑设置端头轴力计时，应保证支撑的稳定并采取可靠的防坠落措施。钢支撑与钢腰梁的连接节点处支撑与腰梁的翼缘和腹板连接应按计算加焊加劲板，满足局部稳定要求，加劲板的厚度不小于 12mm，焊缝高度不小于 8mm。

## 8.2 连接要求

8.2.1 Hat+H 组合桩应采用焊接方式将帽型钢板桩与 H 型钢进行连接。组合型钢板桩的 H 型钢与帽型钢板桩的连接宜使用不连续角焊，焊接率 40%~60%。焊接时应避免过大的焊接变形。如焊接后变形过大，宜采取矫正措施后再沉桩。当有可靠经验时，可考虑高强螺栓连接，螺栓的中心距应通过计算确定，且不大于 2000mm。

8.2.2 组合钢板桩中 H 型钢的接长可通过高强度螺栓连接，也可坡口焊接连接。帽型钢板桩的接长应采用坡口焊接。对接焊缝的坡口形式和要求应符合 JGJ 81 的有关规定，焊缝质量等级应不低于二级。焊接接头的位置不应设在支撑位置或开挖面附近等型钢受力较大处，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。

8.2.3 焊接加工前，应掌握工程的性质与用途、规模、工期、安全与环境保护要求、Hat+H 组合桩的规格、加工场地条件等因素，并编制加工组织和加工计划。

8.2.4 焊接加工前，应通过预试验进行加工可行性和加工时间等的评估。根据预试验的结果，如需要更改加工计划，应与工程管理者等相关人员协商后，方可修改加工计划。

8.2.5 帽型钢板桩及 H 型钢的形状、材质、长度以及焊接条件应符合设计要求。

8.2.6 如需加工标准规格以外的组合钢板桩，应在事先与工程管理者协商确定加工方法和施工方法。

8.2.7 帽型钢板桩和 H 型钢质量检验，应包括宽度、弯曲、翘曲等的检查，检查架台的平直度不大于 1/1000。

8.2.8 焊接施工应符合以下规定：

- a) 焊接材料应符合 GB/T 8110 的二氧化碳气体保护焊丝或 GB/T 5117 的低氢型焊条的规定。焊丝及焊条的抗拉强度应不小于帽型钢板桩和 H 型钢的抗拉强度；
- b) 焊接时，应使用平直度（1/1000 以下）的检查架台；
- c) 帽型钢板桩或 H 型钢对焊接（完全熔化焊接）时，如气温在 5℃ 以下，应把焊接缝的两侧 100mm 及电弧前方 100mm 范围内的母材加热（预热）到 20℃；
- d) 角焊及对焊接时，应采用二氧化碳气体保护焊接。

8.2.9 当不能按照设计要求的长度交付一整根 H 型钢时，可通过多根 H 型钢的对焊接来满足设计要求的长度。确定组合长度时，应在发生弯矩较少的位置进行连接。对焊接应符合以下规定：

- a) 应使用平直度不大于 1/1000 的检查架台进行检查；
- b) 焊接时，宜采用向下焊接姿势；
- c) 按照设计图，进行焊接部位的坡口切削、临时组合、对焊接、横缝封底焊、拼接板填角焊接、钢板桩一侧 H 型钢翼缘焊接部位的光滑打磨（利用砂轮等）。

8.2.10 焊接完毕，经过 12 个小时以上的冷却后，应对每一根桩的总宽度、侧弯、翘曲和焊接质量进行检查。检查方法和内容应符合 10.2.4—10.2.5 中所示的相关规定。

8.2.11 Hat+H 组合桩的焊接加工应符合以下规定：

- a) 应使用平直度（1/1000 以下）的检查架台进行焊接；
- b) 可按照尺寸检查结果选择弯曲小于钢板桩或与钢板桩相反方向弯曲的 H 型与钢板桩进行组合。
- c) 使帽型钢板桩呈锁口位朝下的状态（呈帽子的形状）设置在施工架台上，与 H 型钢的焊接部用钢丝刷清洗后，进行 H 型钢设置位置的划线；
- d) H 型钢的临时固定应从钢板桩的头部开始进行，用侧弯矫正夹具、楔子等工具，使 H 型钢的中心轴与钢板桩的中心轴对准固定。当钢板桩和 H 型钢的翼缘之间有空隙时，在矫正侧弯之前，应使用翘曲矫正夹具、楔子等进行矫正，直到没有间隙；
- e) 临时焊接完成后应拆除所有固定在钢板桩上的夹具；
- f) 应在 H 型钢两边分段对称焊接（每段焊缝长度不宜太长），按由桩顶到桩尖的顺序焊接施工。

8.2.12 Hat+H 组合桩焊接后的尺寸检查及矫正应符合以下规定：

- a) 经过 12 个小时以上的冷却后，对每一根组合桩进行检查；
- b) 应使用平直度（1/1000 以下）的检查架台进行检查；

- c) 应检查宽度、弯曲、翘曲、全幅、焊接部位的位置、长度、脚长及外观;
- d) 当弯曲超过允许值需要矫正时,应用加热矫正来进行矫正;
- e) 当焊接部的脚长不满足设计要求时,应进行焊接补强;
- f) 外观检查通过目测来进行,检查焊缝与钢材的龟裂、熔化缺陷、卷进钢渣、焊瘤、咬边、针孔等缺陷;
- g) 如在焊接部发生缺陷,应除掉缺陷部分,通过焊接来进行修补。

## 9 施工

### 9.1 一般规定

9.1.1 Hat+H 组合桩施工前应编制专项施工组织设计。

9.1.2 Hat+H 组合桩的布设位置应符合设计要求,并充分考虑后续施工措施所需的空間。

9.1.3 Hat+H 组合桩的施工顺序应为清除障碍物、定位放线、挖沟槽、安装导梁、施打钢板桩、拆除导梁、建筑基础结构施工、回填土方、拔除钢板桩。

9.1.4 Hat+H 组合桩的堆放位置应根据施工要求及场地情况沿支护线分散堆放。

9.1.5 基础施工期间,在挖土、吊运、钢筋绑扎、混凝土浇筑等施工作业中,严禁碰撞支撑、任意拆除支撑,禁止在支撑上任意切割、电焊,不宜在支撑上搁置重物。

9.1.6 Hat+H 组合桩在基坑支护中平面布置形状应尽量平直整齐。

9.1.7 对拔桩后留下的桩孔,应及时回填处理。回填的方法宜采用填入法,填入法所用材料应为石屑或中粗砂。

### 9.2 制作、运输和安装

9.2.1 Hat+H 组合桩结构制作及运送单元的划分,应考虑结构受力条件及经济合理性,应便于运输、装卸、堆放和易于拼装。

9.2.2 Hat+H 组合桩在运输前应充分考虑运输路线的各类限制级规则,根据实际情况选择合理的运输手段及可能运输的构件的最大长度。

9.2.3 Hat+H 组合桩在运输至施工现场后应用起吊能力足够的起重设备进行装卸,卸载作业时,支撑点的强度必须足够。

9.2.4 Hat+H 组合桩在施工现场的堆放保管场所应选择平整、坚硬的地面或钢板桩不会发生弯曲变形的场所。

9.2.5 Hat+H 组合桩安装连接采用焊接时,应考虑定位措施,将构件临时固定。

### 9.3 防护和隔热

9.3.1 当 Hat+H 组合钢板桩支护结构用于永久构造物或长期使用的临时结构时,应根据其不同材料及使用环境,采用对应的防锈和防腐蚀措施。

9.3.2 Hat+H 组合桩所采用的防锈和防腐蚀措施除应满足其使用要求外,还应符合 GB 50017 的相关规定。

9.3.3 当 Hat+H 组合桩可能会在使用环境中长期受到热辐射达 150℃以上或火焰作用等炽热融化的侵害时，必须对其加设隔热或防火保护层的设计。

9.3.4 对 Hat+H 组合桩的防火保护层的设计，除应根据使用环境进行设计外，若采用防火涂料作为防火保护层，对防火涂料的性能、涂层厚度及质量要求应符合 GB 14907 和 CECS 24 的规定。

#### 9.4 Hat+H 组合桩施工准备

9.4.1 材料准备应符合以下规定：

- a) Hat+H 组合桩应具有质保书和产品合格证，其材质、规格、性能应符合设计要求；
- b) Hat+H 组合桩在使用前应进行外观检查和形体矫正，外观检查表面缺陷、长度、宽度、厚度、高度、平直度和锁口形状，对桩上影响打设的焊接件宜割除（有割孔、断面缺损应补强），有严重锈蚀，按 5.3 要求进行防腐蚀处理，或按折减后的断面尺寸复核强度；
- c) Hat+H 组合桩接茬不应在同一位置、间距宜大于 1m，且应间隔设置接桩。接桩时，焊接性能必须符合设计要求和有关标准的规定，电焊条应有出厂合格证；
- d) Hat+H 组合桩转角桩、送桩、桩帽等特殊构件应符合设计要求。

9.4.2 施工机械准备应符合：

- a) Hat+H 组合桩的打桩机械可采用振动打桩机械、静压机械以及其他特定的打桩设备；
- b) 在施工前应根据场地工程地质条件，现场作业环境，钢板桩重量、长度、总数量、试桩情况等具体条件，选择适合的施工机械。

9.4.3 施工人员准备应符合以下规定：

- a) 应按照施工方案配置足够的施工人员，包括技术人员、管理人员、电工、电焊工、架子工、机械操作人员、普工等；
- b) 特殊工种人员应取得相应资格证书，所有作业人员应经过安全培训、并接受技术交底；

9.4.4 作业条件准备工作应包括但不限于：

- a) 在编制 Hat+H 组合桩施工组织设计前应调查场地周边环境和地层地质条件；
- b) Hat+H 组合桩沉桩应优先选择陆上作业，如果场地条件要求水上作业时，可用运输船施工或在水上搭设打桩平台，但应综合考虑达到设计的平整度和垂直度要求、沉桩设备的可靠性以及造价等因素；
- c) Hat+H 组合桩宜采用两点吊装的方法进行操作，吊运时应注意保护锁口；
- d) Hat+H 组合桩堆放的地点，应选择在平坦、坚固的场地上；堆放的顺序、位置、方向应符合实施方案的要求；
- e) Hat+H 组合桩应按型号、规格、长度、施工部位分别堆放，并在堆放处设置标牌说明；
- f) Hat+H 组合桩应分层堆放，各层间应垫放枕木，垫木间距应为 3~4m，且上、下层垫木应在同一垂线上，堆放的总高度不宜超过 2m。

9.4.5 导架安装应包括但不限于：

- a) Hat+H 组合桩施工中，应设置一定刚度的、坚固的导架，也称“施工围檩”。导架在平面上分为单面和双面布设形式，在空间上分为单层和双层形式，由导梁和围檩桩等组成，围檩桩的间距应为 2.5~3.5m，导梁与钢板桩墙之间应留有间隙，宜为 2~5cm；
- b) 应采用经纬仪和水平仪控制和调整导梁的位置；
- c) 导梁的高度应有利于控制钢板桩的施工高度和提高施工工效；

- d) 钢板桩的打设深入时，导梁不应产生下沉和变形等情况出现；
- e) 导架的位置应垂直，不应与钢板桩产生碰撞。

## 9.5 Hat+H 组合桩沉桩

9.5.1 Hat+H 组合桩沉桩方法分为陆上沉桩和水上沉桩两种。沉桩方法的选择应综合考虑场地地质条件，应达到设计要求的平整度和垂直度以及沉桩设备的可靠性、造价等各种因素。在水上沉桩水深较浅时，可回填后进行陆上施工，但应考虑到水受污染及河流流域面积减少等因素。如水深较大，靠回填经济上不合理，可用运输船施工或在水上搭设打桩平台。

9.5.2 Hat+H 组合桩沉桩布置方式一般分为三类：插打式、屏风式及错列式：

- a) 插打式打桩即将钢板桩逐根打入土中。该施工方法速度快，桩架高度相对较低，但容易造成钢板桩倾斜、转动，施工时需加强控制；
- b) 屏风式打桩即将多根钢板桩插入土中一定深度，使桩机来回锤击，并使两端 1—2 根桩先打到要求深度再将中间部分的桩顺次打入，该施工方法可防止钢板桩的倾斜、转动；
- c) 错列式打桩法即每隔一根桩进行打入，然后再击打中间的桩，虽然施工难度有所增加，但该施工方法可有效改善桩列的线形。

9.5.3 打桩前，宜对 Hat+H 组合桩逐根进行检查，剔除连接锁扣处的锈蚀。变形严重的钢板桩，待修整合格验收后方可使用，整修后不合格者禁用。

9.5.4 插桩时锁口应对准，施打时如出现脱榫现象，必须采取可靠补救措施。

9.5.5 打桩时应采用两台经纬仪在两个方向控制桩的垂直度。在 Hat+H 组合桩插打过程中，测量监控每块桩的斜度不宜超过 2%，当偏斜过大不能用拉齐方法调正时，必须拔起重打。

9.5.6 钢板桩支护结构的转角连接处宜使用转角钢板桩，若没有此类钢板桩，则应在转角接缝处加塞止水橡胶条或采用其他辅助措施进行密封。

9.5.7 在基础沟槽开挖过程中，应随时观察钢板桩的倾斜或隆起变化情况，若有明显的倾覆或隆起状态，应立即在倾覆或隆起的部位增加对称支撑。

9.5.8 沉桩记录应完整，按规范要求整理成表并进行质量评价。

## 9.6 Hat+H 组合桩拔桩

9.6.1 Hat+H 组合桩作为临时支护措施在基础回填后或施工质量不合格时，应拔出钢板桩。

9.6.2 Hat+H 组合桩拔出前，应充分考虑打设的顺序，打设后经过的时间，锁口部咬合状况等实情，编制可行的拔桩方法、顺序、时间及土孔处理方案。

9.6.3 Hat+H 组合桩拔桩可采用静力拔桩、振动拔桩、冲击拔桩、液压拔桩等方法。在拔桩作业时应符合以下规定：

- a) 作业前应对土质及板桩打入情况，基坑开挖深度及支护方法，开挖过程中遇到的问题等做详细调查，以此判断拔桩作业的难易程度；
- b) 作业前对设备应认真检查，确认无误后方可作业，且应充分掌握操作说明书；
- c) 有关噪声与振动等公害，需征得有关部门认可；
- d) 加强受力钢索等检查；

- e) 可将邻近板桩临时焊死或在其上加配重；
- f) 板桩拔出时会形成的空隙应及时填充；
- g) 拔出的板桩应及时清除土砂，涂以油脂，变形较大的板桩应在调直后运出工地，堆置在平整的场地上。

9.6.4 振动拔桩即利用振动锤产生的强迫振动，扰动土质，破坏钢板桩周围土的粘聚力以克服拔桩阻力，依靠附加起吊力的作用将其拔除。施工时应注意以下：

- a) 由于拔桩的振动影响，拔桩带土过多会引起地面沉降和移位，会给已施工的地下结构带来危害，并影响临近原有建筑物、建筑物或地下管线的安全，设法减少拔桩带土十分重要，目前主要采用灌水、灌砂措施；
- b) 可根据沉桩时的情况确定拔桩起点，必要时也可用跳拔的方法。拔桩的顺序宜与打桩时相反。对于封闭式 Hat+H 组合桩墙，拔桩起点宜离开角桩 5 根以上；
- c) 起重机应随振动锤的启动而逐渐加荷，起吊力一般宜略小于减振器弹簧的压缩极限；
- d) 供振动锤使用的电源应为振动锤本身电动机额定功率的 1.2~2.0 倍。

9.6.5 若出现钢板桩难以拔出的情况，可采取以下辅助措施：

- a) 对引拔阻力较大的桩，采用间歇振动的方法，每次振动 15 分钟，振动锤连续工作不超过 1.5 小时；
- b) 板桩承受土压一侧的土较密实，在其附近并列地打入另一块板桩，可使原来的板桩顺利拔出，也可在板桩两侧开槽，放入膨润土浆液，拔桩时可减少阻力；
- c) 拔桩时，可先用振动锤将板桩锁口振活以减小土的粘附力，边振边拔，对较难拔除的板桩可先用振动锤或柴油锤将桩振下 100~300mm，再与振动锤交替振打、振拔。

9.6.6 Hat+H 钢板施工过程中发生倾斜时，宜用钢丝绳拉住桩身，边拉边打，逐步纠正。

9.6.7 Hat+H 钢板施工过程中发生扭转时，可在打桩行进方向用卡板锁住板桩的前锁口，在钢板桩之间的两边空隙内设滑轮支架，制止板桩下沉中的转动；在两块板桩锁口搭扣处两边用垫铁和木樨填实。

9.6.8 Hat+H 钢板施工过程中发生共连时，可采取的措施主要为在发生板桩倾斜及时纠正，把相邻已打好的桩用角铁电焊临时固定。

## 9.7 施工检查

9.7.1 Hat+H 组合型钢板桩在施工中的检查项目、检验标准及方法应符合表 9.7.1 所示：

表 9.7.1 Hat+H 组合桩在施工中的检查项目及检查方法

序号	检查项目	检查方法	测定密度	测定单位	容许范围
1	板桩墙长度	用钢尺量	施工中适量测定 打设结束后测定总长	1cm	+1 块钢板桩宽度-0
2	板桩垂直于桩墙方向的 倾斜	用经纬仪，铅垂 仪，倾斜计测定	打设结束后，测量每 20 块中 1 块相对计划 轴线的变化	1/1000	<10/1000

3	板桩沿桩墙方向的倾斜	用经纬仪，铅垂仪，倾斜计测定	施工中适量测定 打设结束后测定两端	1/1000	<10/1000
4	板桩顶端高度	用水准仪测定	打设结束后，每 20 块中 1 块和设计桩顶标高的变化	1cm	±10cm

9.7.2 Hat+H 组合桩在重复使用前的检查项目、检验标准及方法应符合表 9.7.2:

表 9.7.2 Hat+H 组合桩在重复使用前的检查项目及检查方法

序号	检查项目	允许偏差或允许值		检查方法
		单位	数值	
1	桩垂直度	%	<1%	用钢尺量
2	桩身弯曲度	%L	<2%L	用钢尺量，L 为桩长
3	齿槽平直光滑度	无电焊渣或毛刺		用 1m 长的桩段做通过试验
4	桩长度	不小于设计长度		用钢尺量

## 10 监测

### 10.1 一般规定

10.1.1 Hat+H 组合桩监测应由设计提出监测项目和要求，由业主委托有资质的监测单位编制监测方案，监测方案应包括监测项目、监测目的、监测方法、测点布置、监测项目报警值和信息反馈制度等内容，经设计、监理和业主等共同认可，必要时还需与基坑周边环境涉及的有关管理单位协商一致后方可实施。

10.1.2 使用钢板桩作为基坑支护结构时，开挖深度不小于 5m 或开挖深度小于 5m 但现场地质情况和周围环境较复杂的基坑、临时工程以及其他需要支护监测的工程时应实施组合钢板桩的监测。

### 10.2 监测项目

10.2.1 Hat+H 组合桩监测设计应根据支护结构类型选择相应监测项目，并应根据支护结构的具体形式、基坑周边环境的重要性及地质条件的复杂性确定监测点部位及数量。选用的监测项目及监测部位应能够反映支护结构的安全状态和基坑周边环境受影响的程度。

10.2.2 组合钢板桩仪器监测项目应根据表 10.2.2 进行选择。

表 10.2.2 组合钢板桩仪器监测项目表

监测项目	支护结构的安全等级		
	一级	二级	三级
支护结构顶部水平位移	应测	应测	应测
支护结构顶部竖向位移	应测	应测	应测
支护结构深部水平位移	应测	应测	宜测

基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路、地面沉降	应测	应测	宜测
支撑轴力	应测	宜测	选测
锚杆拉力	应测	宜测	选测
锁口张力	应测	宜测	选测
孔隙水压力	应测	应测	选测
土压力	应测	选测	选测
地下水位	应测	选测	选测

注：基坑工程重要性等级的划分应按照DB42/T 159的有关要求执行。

10.2.3 Hat+H 组合桩在使用过程中，除了选择相应仪器监测项目外，每天均应由专人进行巡视检查。

10.2.4 巡视检查宜包括以下内容：

1) 支护结构：

- 支护结构质量；
- 组合钢板桩支撑有无较大位移、形变；
- 锁口止水有无开裂、渗漏；
- 墙后土体有无裂缝、沉陷及滑移；
- 基坑有无涌土、流沙、管涌。

2) 监测设施：

- 基准点、监测点完好状况；
- 监测元件的完好及保护情况；
- 有无影响观测工作的障碍物。

3) 根据设计要求或当地经验确定的其他巡视检查内容。

10.2.5 对自然条件、支护结构、监测设施等的巡视检查情况应做好记录。检查记录应及时整理，并与仪器监测数据进行综合分析。

10.2.6 巡视检查如发现异常和危险情况，应及时通知建设方及其他相关单位。

### 10.3 监测点布置

10.3.1 Hat+H 组合桩监测点的布置应能反映组合钢板桩结构的实际状态及其变化趋势。监测点的布置应不妨碍监测对象的正常工作，并减少对施工作业的不利影响。监测标志应安装稳固、明显，结构合理，监测点的位置应避免障碍物，便于观测。

10.3.2 Hat+H 组合桩顶部的水平和竖向位移监测点应沿开挖临空面周边布置，单边中部、起始点、转角处应布置监测点。监测点水平间距不宜大于 20m，每边监测点数目不宜少于 3 个。监测点宜设置在组合钢板桩顶部。

10.3.3 深层水平位移监测点宜布置在开挖临空面周边的中部、阳角处及有代表性的部位。监测点水平间距宜为 20m~50m，每边监测点数目应不少于 1 个。

10.3.4 开挖临空面周边环境监测点应依据环境类别相应布置：

- a) 周边建（构）筑物沉降监测点应设置在建（构）筑物的结构墙、柱上，并沿临空面平行和垂直方向布置。平行方向测点间距不宜大于 15m，垂直方向上的测点宜布置在柱、隔墙与结构缝部位，垂直方向的布点范围应能反映建筑物基础的沉降差；
- b) 地下管线沉降监测点，当采用间接监测方法时，应布设在管线正上方。当管线上方为刚性路面时，宜将测点设置于刚性路面下。对直埋的刚性管线，应在管线节点、竖井及其两侧等易破碎处设置测点。测点水平间距不宜大于 20m；
- c) 道路沉降监测点间距不宜大于 30m，且每条道路监测点不应少于 3 个。必要时，可沿道路宽度方向布设多个测点；
- d) 周边地面沉降监测点应设置在开挖临空面外侧土层表面或柔性地面上。与组合钢板桩的水平距离宜在开挖深度的 0.2 倍范围以内。每个监测面测点不宜少于 5 个。

#### 10.3.5 Hat+H 组合桩支撑内力监测点的布置应符合下列要求：

- a) 每层支撑的内力监测点不应少于 3 个，各层支撑的监测点位置应在竖向上宜保持一致；
- b) 组合钢板桩支撑的监测截面宜选择在两支点间 1/3 部位、支撑的端头或受力有代表性的位置；
- c) 每个监测点截面内传感器的设置数量及布置应满足不同传感器测试要求；
- d) 监测点应选择在受力较大且有代表性的位置，基坑每边中部、阳角处和地质条件复杂的区段宜布置监测点。

10.3.6 锁口张力监测点应选择在受力较大且有代表性的位置，基坑每边中部、阳角处和地质条件复杂的区段宜布置监测点。监测点数量和间距应视具体情况而定，各层监测点位置在竖向上宜保持一致。每根组合钢板桩上的测试点应设置在有代表性的受力位置。

10.3.7 孔隙水压力监测点宜布置在基坑受力、变形较大或有代表性的部位。竖向布置上监测点宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布情况布设，竖向间距宜为 2m~5m，数量不宜少于 3 个。

10.3.8 地下水位监测点的布置应符合 GB 50497 的相关要求。

### 10.4 监测频率

10.4.1 监测项目初始值应在相关施工工序之前测定，并取至少连续观测 3 次的稳定值的平均值。

10.4.2 Hat+H 组合桩监测工作应贯穿于工程开挖和地下工程施工全过程。监测期应从基坑工程施工前开始，直至地下工程完成为止。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。

10.4.3 Hat+H 组合桩的监测频率应综合考虑开挖工程类别、地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然条件的变化和当地经验。当监测值相对稳定时，可适当降低监测频率。对于应测项目，在无数据异常和事故征兆的情况下，开挖后现场仪器监测频率宜不低于 1 次/2d。有支撑的支护结构各道支撑开始拆除到拆除完成后 3d 内监测频率应为 1 次/1d。支护结构安全等级为三级时，或宜测、可测项目的仪器监测频率可视具体情况适当降低。

10.4.4 当出现下列情况之一时，应提高监测频率：

- a) 监测数据达到报警值；
- b) 监测数据变化较大或者速率加快；
- c) 存在勘察未发现的不良地质；
- d) 超深、超长开挖或未及时加撑等违反设计工况施工；

- e) 开挖临空面周边大量积水、长时间连续降雨、市政管道出现泄漏；
- f) 开挖临空面附近地面荷载突然增大或超过设计限值；
- g) 支护结构出现开裂；
- h) 周边地面突发较大沉降或出现严重开裂；
- i) 邻近建筑突发较大沉降、不均匀沉降或出现严重开裂；
- j) 开挖临空面底部、侧壁出现管涌、渗漏或流沙等现象；
- k) 发生事故后重新组织施工；
- l) 出现其他影响工程及周边环境安全的异常情况。

## 10.5 监测报警

10.5.1 Hat+H 组合桩结构监测报警值应根据土质特征、设计结果及当地经验等因素确定；当无当地经验时，可参考 GB 50497 的相关内容确定。

10.5.2 当出现下列情况之一时，必须立即进行危险报警，并对基坑支护结构和周边环境中的保护对象采取应急措施：

- a) 监测数据达到监测报警值的累计值；
- b) Hat+H 组合桩结构或周边土体的位移值突然明显增大或基坑出现流沙、管涌、隆起、陷落或较严重的渗漏等；
- c) Hat+H 组合桩结构的支撑或锚杆体系出现过大大变形、压屈、断裂、松弛或拔出的迹象；
- d) 根据当地工程经验判断，出现其他必须进行危险报警的情况。

## 11 工程质量检验及验收

### 11.1 一般规定

11.1.1 应用 Hat+H 组合桩的工程，应按照设计要求及 GB 50205、GB T20933、GB 50300 的规定进行质量检验。

11.1.2 Hat+H 组合桩的质量检验应包括 H 型钢检验、帽型钢板桩检验、焊接检验及 Hat+H 组合桩性能试验。

11.1.3 钢材应成批验收。每批应有同一牌号、同一炉号、同一规格、同一轧制制度的钢材组成，每批重量应不大于 60t。

### 11.2 质量检验

11.2.1 H 型钢和帽型钢板桩的品种、规格、性能等应符合现行国家产品标准和设计要求。进口钢材产品的质量应符合设计和合同规定标准的要求。原材料的质量检验应包括下列内容：

- a) 原材料出厂合格证
- b) 质量证明书
- c) 材料现场抽检试验报告

11.2.2 对属于下列情况之一的钢材，应进行抽样复验，其复验结果应符合现行国家产品标准和设计要求：

- a) 国外进口钢材；

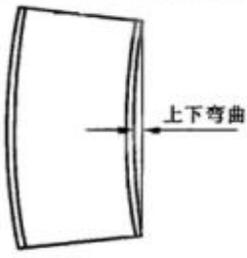
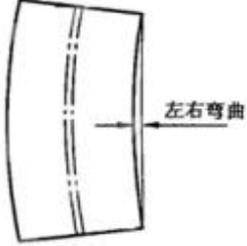
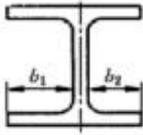
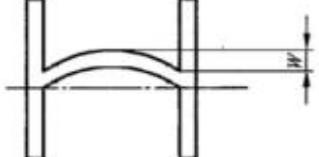
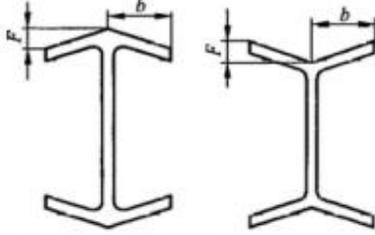
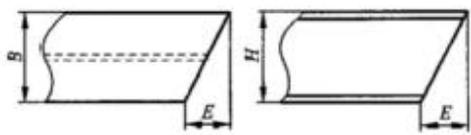
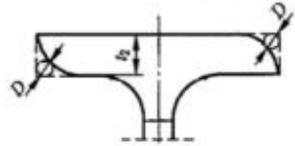
- b) 钢材混批;
- c) 设计有复验要求的钢材;
- d) 对质量有疑义的钢材。
- e) 检查数量: 全数检查。
- f) 检验方法: 检查复验报告。

11.2.3 焊接 H 型钢的翼缘板拼接缝和腹板拼接缝的间距应不小于 200mm。翼缘板拼接长度应不小于 2 倍板宽; 腹板拼接宽度应不小于 300mm, 长度应不小于 600mm。

11.2.4 H 型钢允许偏差应满足表 11.2.4 的要求。

表 11.2.4 H 型钢允许偏差 单位: 毫米

项 目		允许偏差		图 示	
高度 $H$ (按型号)	$< 400$	$\pm 2.0$			
	$\geq 400 \sim < 600$	$\pm 3.0$			
	$\geq 600$	$\pm 4.0$			
宽度 $B$ (按型号)	$< 100$	$\pm 2.0$			
	$\geq 100 \sim < 200$	$\pm 2.5$			
	$\geq 200$	$\pm 3.0$			
厚度	$t_1$	$< 5$	$\pm 0.5$		
		$\geq 5 \sim < 16$	$\pm 0.7$		
		$\geq 16 \sim < 25$	$\pm 1.0$		
		$\geq 25 \sim < 40$	$\pm 1.5$		
		$\geq 40$	$\pm 2.0$		
	$t_2$	$< 5$	$\pm 0.7$		
		$\geq 5 \sim < 16$	$\pm 1.0$		
		$\geq 16 \sim < 25$	$\pm 1.5$		
		$\geq 25 \sim < 40$	$\pm 1.7$		
		$\geq 40$	$\pm 2.0$		
长度	$\leq 7 \text{ m}$	$+60$ $0$			
	$> 7 \text{ m}$	长度每增加 1 m 或不足 1 m 时, 正偏差在上述基础上加 5 mm			
翼缘斜度 $T$ 或 $T'$	高度(型号) $\leq 300$	$B \leq 150$	$\leq 1.5$		
		$B > 150$	$< 1.0\% B$		
	高度(型号) $> 300$	$B \leq 125$	$\leq 1.5$		
		$B > 125$	$\leq 1.2\% B$		

项 目		允许偏差		图 示
弯曲度 (适用于上下、左右大弯曲)	高度(型号)≤300	≤长度的0.15%		
	高度(型号)>300	≤长度的0.10%		
中心偏差 S	高度(型号)≤300 且 宽度(型号)≤200	±2.5		$S = \frac{b_1 - b_2}{z}$ 
	高度(型号)>300 或 宽度(型号)>200	±3.5		
腹板 弯曲 W	高度(型号)<400	≤2.0		
	≥400~<600	≤2.5		
	≥600	≤3.0		
翼缘弯曲 F	宽度 B≤400	≤1.5%b。但是,允许偏差值的最大值为1.5 mm		
端面斜度 E	B≤200	≤3.0		
	B>200	≤1.6%B		
翼缘端外缘钝化	不得使直径等于0.18t <sub>2</sub> 的圆棒通过			
<p>注 1: 尺寸和形状的测量部位见图示。</p> <p>注 2: 弯曲度沿翼缘端部测量。</p>				

11.2.5 热轧帽型钢板桩允许偏差应满足表 11.2.5 的要求。

表 11.2.5 帽型钢板桩允许偏差

项目		允许偏差
有效宽度 W		-5mm, +10mm
有效高度 H		±4%
腹板厚度 t	<10mm	±1.0mm
	10~16mm	±1.2mm
	≥16mm	±1.5mm
长度 L		-0, +未指定
侧弯	L≤10m	≤0.12%L
	L>10m	(L-10)×0.1%+12mm
翘曲	L≤10m	≤0.25%L
	L>10m	(L-10)×0.2%+25mm
端面斜度		≤4%W

11.2.6 Hat+H 组合桩焊接后的检查要求

11.2.6.1 形状与尺寸应于帽型钢板桩一侧进行测量，且应满足以下各项允许偏差的要求。测量部位及测量频率应由合同双方协商确定。

表 11.2.6.1 Hat+H 组合桩的允许偏差

项目		允许偏差
有效宽度 W		-5mm, +10mm
侧弯	L≤10m	≤0.12%L
	L>10m	(L-10)×0.1%+12mm
翘曲	L≤10m	≤0.25%L
	L>10m	(L-10)×0.2%+25mm

11.2.6.2 焊接部位应通过相关测量设备进行检查或通过目视法进行外观检查，且应满足以下各项焊接质量的要求。测量部位及测量频率应由合同双方协商确定。如果委托方有相关要求，应对焊接部位进行无损探伤检验。

表 11.2.6.2 焊接部位的质量要求

项目	质量要求
焊缝长度	不小于设计图纸等对焊缝的要求长度
焊缝脚长	不小于设计图纸等对焊缝脚长的要求长度
表面缺陷	无表面龟裂或有害缺陷

11.2.7 焊接检验分为施工单位自检、业主监检及其委托的独立第三方检测机构进行的检测。一般程序包括焊前检验、焊中检验和焊后检验。检验内容及抽样方法应符合 GB 50661 的要求。

11.2.8 焊缝抽样检验应按照下列规定进行结果判定：

- a) 抽样检验的焊缝数不合格率小于 2%时，该批验收合格；
- b) 抽样检验的焊缝数不合格率大于 5%时，该批验收不合格；
- c) 除本条第 5 款情况外抽样检验的焊缝数不合格率为 2%~5%时，应加倍抽检，且必须在原不合格部位两侧的焊缝延长线各增加一处，在所有抽检焊缝中不合格率不大于 3%时，该批验收合格，大于 3%时，该批验收不合格；
- d) 批量验收不合格时，应对该批余下的全部焊缝进行检验；
- e) 检验发现 1 处裂纹缺陷时，应加倍抽查，在加倍抽检焊缝中未再检查出裂纹缺陷时，该批验收合格；检验发现多于 1 处裂纹缺陷或加倍抽查又发现裂纹缺陷时，该批验收不合格，应对该批余下焊缝的全数进行检查。

#### 11.2.9 验收检验的抽检位置应按照下列要求综合确定：

- a) 抽检点宜随机、均匀和有代表性分布；
- b) 设计人员认为有必要的重要部位；
- c) 岩土特性复杂部位；
- d) 施工出现异常情况的部位。

### 11.3 结构不合格情况处理

#### 11.3.1 如初检不合格，可采用以下两种方法之一进行复验：

- a) 从同件产品上另取双倍试样进行该不合格项目的复验。如复验结果都合格，则该批产品合格。若复验结果仍有一个试样不合格，则该件产品报废；但此时应从同一批产品中另取两件产品各取一个试样进行复验。复验结果若有一个不合格，则该批产品为不合格品。
- b) 直接从同一批产品另取两件产品各一个试样进行该不合格项目的复验。复验结果若有一个不合格，则该批产品为不合格品。

#### 11.3.2 当 Hat+H 组合桩施工质量不符合本规范要求时，应按下列规定进行处理：

- a) 经返工重做或更换构（配）件的检验批，应重新进行验收；
- b) 经有资质的检测单位检测鉴定能够达到设计要求的检验批，应予以验收；
- c) 经有资质的检测单位检测鉴定达不到设计要求，但经原设计单位核算认可能够满足结构安全和使用功能的检验批，可予以验收；
- d) 经返修或加固处理的分项、分部工程，虽然改变外形尺寸但仍能满足安全使用要求，可按处理技术方案和协商文件进行验收。

### 11.4 验收

#### 11.4.1 Hat+H 组合桩分部工程合格质量标准应符合下列规定：

- a) 各分项工程应满足质量标准；
- b) 质量控制资料 and 文件应填写完整；
- c) 有关安全及功能的检验和见证检测结果应符合本规范相应合格质量标准的要求；
- d) 有关观感质量应符合本规范相应合格质量标准的要求。

#### 11.4.2 Hat+H 组合桩工程竣工验收时，应提供下列文件和记录：

- a) 钢结构工程竣工图纸及相关设计文件；
- b) 施工现场质量管理检查记录；

- c) 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录；
- d) 有关观感质量检验项目检查记录；
- e) 分部工程所含各分项目工程质量验收记录；
- f) 分项工程所含各检验批质量验收记录；
- g) 强制性条文检验项目检查记录及证明文件；
- h) 隐蔽工程检验项目检查验收记录；
- i) 原材料、成品质量合格证明文件、中文标志及性能检测报告；
- j) 不合格项的处理记录及验收记录；
- k) 重大质量、技术问题实施及验收记录；
- l) 其他有关文件和记录。

## 附录 A

(规范性附录)

## Hat+H 组合钢板桩支护结构常用规格

A.0.1 常用热轧帽型钢板桩与 H 型钢组合结构的规格见表 A.0.1

表 A.0.1 常用热轧帽型钢板桩与 H 型钢组合结构的规格

帽型钢板桩与 H 型钢组合结构型号	每m <sup>2</sup> 质量	截面面积	截面模量	惯性矩
	Kg/m <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>4</sup> /m
10H+HN450×200 (446×199×8×12)	168	214	2420	101000
10H+HN450×200 (450×200×9×14)	179	228	2740	112000
10H+HN500×200 (496×199×9×14)	183	233	2990	131300
10H+HN500×200 (500×200×10×16)	194	247	3330	143900
10H+HN600×200 (596×199×10×15)	199	253	3830	190700
10H+HN600×200 (600×200×11×17)	211	269	4240	207700
10H+HN600×200 (606×201×10×20)	227	289	4790	230500
10H+HM600×300 (582×300×12×17)	244	310	5340	241300
10H+HM600×300 (588×300×12×20)	259	330	5950	265300
10H+HN700×300 (692×300×13×20)	277	353	7180	363300
10H+HN700×300 (700×300×13×24)	298	379	8110	405600
10H+HN800×300 (792×300×14×22)	305	388	8960	499400
10H+HN800×300 (800×300×14×26)	326	415	10000	552200
10H+HN900×300 (890×299×15×23)	329	419	10680	650200
10H+HN1000×300 (970×297×16×21)	337	429	11450	751700
25H+HN900×300 (890×299×15×23)	358	457	11600	758200
25H+HN1000×300 (970×297×16×21)	366	467	12410	872400
25H+HN900×300 (900×300×16×28)	392	500	13330	855900
25H+HN1000×300 (980×298×17×26)	401	511	14280	986300
25H+HN1000×300 (990×298×17×31)	427	544	15880	1087200
25H+HN1000×300 (1000×300×19×36)	470	599	18020	1214200
25H+HN1000×300 (1008×302×21×40)	509	649	19850	1321000

注：以上规格为部分常用组合钢板桩支护结构的代表性组合截面，还可根据工程实际需求选择其他热轧钢板桩与H型钢相应组合规格。

A.0.2 确定帽型钢板桩和 H 型钢组合后的截面性能是对其进行结构力学分析的基础，本条采用材料力学方法对其截面中性轴、截面惯性矩、截面模量等截面力学参数进行计算，计算简图见图 A.0.2，计算方法如下：

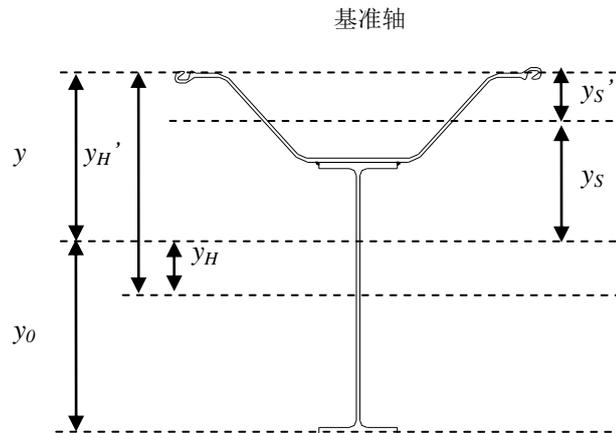


图 A.0.2 H+Hat 组合型钢板桩截面力学参数计算简图

重量  $W$ : 
$$W = W_S + W_H \quad (\text{A.0.2-1})$$

式中:  $W$ ——帽型+H 型组合式钢板桩的重量

$W_S$ ——帽型钢板桩的重量

$W_H$ ——H 型钢的重量

截面积  $A$ : 
$$A = A_S + A_H \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中:  $A$ ——帽型+H 型组合式钢板桩的截面面积

$A_S$ ——帽型钢板桩 900 的截面面积

$A_H$ ——H 型钢的截面面积

截面惯性矩: 
$$I = I_S + A_S \cdot y_S^2 + I_H + A_H \cdot y_H^2 \quad (\text{A.0.2-3})$$

$$I' = I / w \quad (\text{A.0.2-4})$$

式中:  $I$ ——1 个帽型+H 型组合式钢板桩的截面惯性矩

$I_S$ ——帽型钢板桩 900 单体的截面惯性矩

$I_H$ ——单片 H 型钢的截面惯性矩

$y_S$ ——单片帽型钢板桩的中性轴到帽型+H 型的中性轴的距离

$y_H$ ——H 型钢的中性轴到帽型+H 型的中性轴的距离

$I'$ ——每延米壁体的帽型+H 型钢的截面惯性矩

$w$ ——帽型 900 的有效宽度 (900mm)

帽型+H 型组合式钢板桩的中性轴的计算方法:

$$y = Q / A \quad (\text{A.0.2-5})$$

式中：y——帽型+H 型的中性轴到基准轴的距离

Q——帽型+H 型对于中性轴的截面一次矩

$$Q = Q_S + Q_H \quad (\text{A.0.2-6})$$

式中：Q<sub>S</sub>——帽型钢板桩对于自身中性轴的截面一次矩

$$Q_S = A_S \cdot y_S \quad (\text{A.0.2-7})$$

式中：y<sub>S</sub>——帽型钢板桩的中性轴到帽型+H 型的中性轴的距离

Q<sub>H</sub>——H 型钢对于自身中性轴的截面一次矩

$$Q_H = A_H \cdot y_H \quad (\text{A.0.2-8})$$

式中：y<sub>H</sub>——H 型钢的中性轴到帽型+H 型的中性轴的距离

截面模量：
$$Z = I / y_0 \quad (\text{A.0.2-9})$$

$$Z' = Z / w \quad (\text{A.0.2-10})$$

式中：Z——单片 H+Hat 型组合式钢板桩的截面模量

I——单片 H+Hat 型组合式钢板桩的截面惯性矩

y<sub>0</sub>——H+Hat 型组合式钢板桩的中性轴到 H 型钢最外缘的距离

Z'——每延米壁体的H+Hat型的截面模量

附 录 B  
(规范性附录)  
腐蚀环境分类

腐蚀环境分类见表 B。

表 B.1 大气区 Hat+H 组合桩防腐蚀环境分类

大气区 腐 蚀 环 境 分 类	单位面积质量损失/厚度损失 (经过一年暴露后)				温和气候下典型环境实例	
	低碳钢		锌		外部	内部
	质量损失 (g/m <sup>2</sup> )	厚度损失 (μm)	质量损失 (g/m <sup>2</sup> )	厚度损失 (μm)		
C1 很低	≤10	≤1.3	≤0.7	≤0.1	—	加热的建筑物内部, 空气洁净
C2 低	10~200	1.3~25	0.7~5	0.1~0.7	污染水平较低, 大部分是乡村地区	未加热的地方, 冷凝有可能发生在建筑内部
C3 中等	200~400	25~50	5~15	0.7~2.1	城市和工业大气, 中等二氧化硫污染, 低盐度沿海区	具有高温度和一些空气污染的生产车间
C4 高	400~550	50~80	15~30	2.1~4.2	中等盐度的工业区和沿海区	化工厂、游泳池、沿海船舶和造船厂等区域
C5—I 很高 (工业)	650~1500	80~200	30~60	4.2~8.4	高强度恶劣气候的工业区	总是有冷凝和高污染的建筑物地区
C5—M 很高 (海洋)	650~1500	80~200	30~60	4.2~8.4	高盐度沿海和近海岸地区	总是有冷凝和高污染的建筑物地区

注：在沿海区的炎热、潮湿地带，质量或厚度损失可能超过 C5—M 种类的界限。

表 B.2 海水环境中 Hat+H 组合桩防腐蚀部位划分

掩护条件	划分类别	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区	泥下区
有掩护	按现行行业标准《港口与航道水文规范》(JTS145)计算的设计水位	设计高水位加 1.5m 以上	大气区下界至设计高水位减 1.0m 之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区下界至泥面	泥面以下
无掩护	按现行行业标准《港口与航道水文规范》(JTS145)计算的设计水位	设计高水位加 (+1.0m) 以上	大气区下界至设计高水位减之间	浪溅区下界至设计低水位减 1.0m 之间	水位变动区下界至泥面	泥面以下
	按天文潮潮位	最高天文潮位加 0.7 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 以上	大气区下界至最高天文潮位减百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	浪溅区下界至最低天文潮位减 0.2 倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间	水位变动区下界至泥面	泥面以下
注：① $H_{1\%}$ 值为设计高水位时的重现期 50 年 $H_{1\%}$ （波列累计频率为 1% 的波高）波峰面高度； ②当浪溅区上界计算值低于码头面高程时，应取码头面高程为浪溅区上界； ③当无掩护条件的海港工程无法按现行行业标准《港口与航道水文规范》（JTS145）计算设计水位时，可按天文潮潮位确定码头结构的部位划分。						

表 B.3 淡水环境中 Hat+H 组合桩防腐蚀部位划分

水上区	水下区	水位变动区
设计高水位以上	设计低水位以下	水上区与水下区之间
注：①水上区也可按历年来平均最高水位以上划分； ②库区工程分为水上区、水下区，以设计低水位作为分界。		

## 附 录 C

(规范性附录)

## 金属热喷涂常用的封闭剂、封闭涂料和涂装涂料

金属热喷涂常用的封闭剂、封闭涂料和涂装涂料见表 C。

表 C 金属热喷涂常用的封闭剂、封闭涂料和涂装涂料

类型	种类	成膜物质	主颜料	主要性能
封闭剂	磷化底漆	聚乙烯醇 缩丁醛	四盐基铬酸锌	能形成磷化—钝化膜，可提高封闭层、封闭涂料的相容性及防腐性能
	双组分环氧漆	环氧	铬酸锌、磷酸锌 或云母氧化铁	能形成磷化—钝化膜，可提高封闭层、封闭涂料的相容性及防腐性能，与环氧类封闭涂料或涂装涂料配套
	双组分聚氨酯	聚氨基甲酸酯	锌铬黄或 磷酸锌	能形成磷化—钝化膜，可提高封闭层、封闭涂料的相容性及防腐性能，与聚氨酯类封闭涂料或涂装涂料配套
封闭涂料 或涂装涂 料	双组分环氧或 环氧沥青	环氧沥青	—	耐潮、耐海水、耐化学物品性能优良，但耐候性差
	双组分聚氨酯 漆	聚氨基甲酸酯	—	综合性能优良，耐潮湿、耐海水、耐化学物品性能好，有些品种具有良好的耐候性，可用于受阳光直射的海港大气区

# 帽型钢板桩与 H 型钢组合结构

## 设计与施工规范

### 条文说明

#### 编制说明

本规范在编制过程中，编制组进行了帽型钢板桩与H型钢组合结构设计、施工及应用情况的调查研究，总结了本地区及国内部分地区Hat+H组合桩设计、施工、检测的实践经验，同时参考国外先进技术标准，通过试验，取得了大量重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《帽型钢板桩与H型钢组合结构设计施工规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

# 目 次

- 1 范围.....(41)
- 3 术语与符号.....(41)
- 4 调查与工程勘察.....(41)
- 5 材料.....(42)
- 6 基本规定.....(43)
- 7 支护结构设计.....(44)
- 8 构造要求.....(47)
- 9 施工.....(49)
- 10 监测.....(49)

# 帽型钢板桩与 H 型钢组合结构设计施工规范

## 条文说明

### 1 范围

Hat+H组合钢板桩支护结构是采用热轧宽幅帽型钢板桩和H型钢通过焊接或螺栓连接并形成统一受力整体来抵抗水土压力的一种新的组合形式。Hat+H组合桩的应用，涉及工程地质、水文地质、岩土力学、施工及监测技术等多门学科。因其具有抗弯刚度大、受力形式合理、施工快速便捷、止水性能好、环境影响小、可重复使用等特点，在工程中具有良好的适用性，应用前景十分广阔。编制本规范的主要目的是使Hat+H组合桩的应用标准化、规范化，满足技术先进、安全可靠、经济合理、确保质量和保护环境的要求。

Hat+H组合桩属于热轧钢板桩的一种特殊组合形式，适用范围尚应符合《热轧钢板桩》GB/T 20933—2014的要求。

Hat+H组合桩结构既可用于临时性工程，也可用于永久性工程。帽型钢板桩与H型钢组合结构构件的结构基本性能试验研究表明，帽型钢板桩与H型钢组合结构具有比U型钢板桩等传统钢板桩结构更大的抗弯刚度；同时具有更快的施工速度，适用性更强。帽型钢板桩与H型钢组合结构广泛适用于更深的基坑、更高的围堰、抢险工程等土木工程、水利工程领域。

### 3 术语和定义

3.0.1 传统U型钢板桩板体位于锁口连接线的两侧。帽型钢板桩与U型钢板桩相比，具有更大的幅宽（单桩幅宽通常为900 mm，而U型桩单桩幅宽通常小于600mm）和更高的截面模量。

### 4 调查与工程勘察

#### 4.1 一般规定

4.1.1 一般调查主要是既往资料等信息的概略收集，即设计前调查，初步判断采用Hat+H组合桩的可行性，并根据其结果制订详细的岩土工程勘察方案。岩土工程勘察的目的是为支护结构的设计、施工提供所需资料，需要查明影响支护结构的地质分层、力学特性、地下水状况，并根据需要对岩土地基的化学性质等进行调查。对特殊地层应通过专项技术研究及现场试验确定其合理性及可行性。

#### 4.2 调查

4.2.1 周边环境调查的主要目的是查明Hat+H组合桩施工的可能性，及其施工对周边环境带来有害影响等，并可能涉及的法律问题。应查明与邻地边界的距离，是否需要借用邻地；调查清楚Hat+H组合桩施工给邻近既有建筑物、周边地下埋设物、周边道路等带来的影响；调查建筑用地周边的地下水利用情况，并分析Hat+H组合桩施工是否会给周边居民带来影响。以往的挖填方及人类活动影响地层历史和支护地层的性状与稳定性；临近建筑物会对支护结构形成附加荷载，对支护结构的变形及安全度要求更高；地下管线及构筑物可能对Hat+H组合桩施工形成障碍，并提出更严格的保护要求，避免施工及支护结构变形对其产生污染和破坏，因此也作为主要的调查内容。

#### 4.3 工程勘察

4.3.1 岩土工程勘察对不同的支护结构有不同的要求，具体可参照相关主体结构勘察设计规范。总体而言，工程勘察主要为Hat+H组合桩支护设计提供下列参数和条件：

- 1) 支护结构承担的荷载，包括水压力和土压力；
- 2) 岩土力学参数，包括抗剪强度及变形计算参数；
- 3) Hat+H组合桩防腐保护设计条件；
- 4) Hat+H组合桩施工的可行性及施工方法选择。

对地下水位的判断与预测对支护结构设计极其关键，但由于地下水分布、补给和排放受多种因素的影响，其变化规律非常复杂，应结合区域自然条件、地质特点、历史记录、现场实测以及分析预测综合确定。

支护结构计算土压力荷载时采用地下水位，但是简单地采用勘察实测水位或3~5年最高水位是不可靠的，而采用历史最高水位又过于保守，应结合近3~5年最高水位与历史最高水位，并根据结构使用期内地下水位的预测综合确定。

#### 4.4 专项技术研究

4.4.1 特殊地层是指严重影响Hat+H组合桩的力学稳定性和化学稳定性，以及施工特别困难的地层。如膨胀性地层、岩石强度较高地层、碎石含量较高地层、淤泥和淤泥质土、承压水地层和强腐蚀性地层等。对特殊地层，除应进行常规地质勘察和调查外，还应进行Hat+H组合桩适应性试验，以确定锚杆在特殊地层中的适应性(地层的可插拔性、对施工方法的适应性)和长期可靠性。

### 5 材料

#### 5.1 一般规定

5.1.1 H型钢的钢材牌号宜采用Q345、Q390、Q420、Q460钢。理论上，Hat+H组合桩组合结构中的H型钢的尺寸选取是自由的，且材质的组合也是自由的。但考虑到组合钢板桩的中性轴在组合钢板桩高度的40~45%左右的位置(更靠近帽型钢)，其抗弯能力由距离中性轴较远的H型钢的上翼缘板所决定的。故所选择的H型钢的屈服强度一般应高于帽型钢。参考《热轧钢板桩》GB/T 20933—2014中最低强度牌号Q295P的参数，其屈服强度不小于295 N/mm<sup>2</sup>，抗拉强度390~570 N/mm<sup>2</sup>，故如果选择H型钢与之组合使用，宜选择Q345级及以上牌号钢材。

5.1.2 有关帽型钢板桩材料一般规定：

- 1) 现行国家标准及建筑行业标准已对钢板桩及热轧钢板桩的技术要求，包括规格、外形、重量及允许偏差进行了规定。
- 2) 热轧帽型钢板桩钢材牌号宜采用Q295P、Q295WP、Q355P、Q355WP、Q390P、Q390WP、Q420P、Q420WP、Q460P、Q460WP钢。
- 3) 本规范主编及参编单位此前做了大量关于热轧帽型钢板桩+H型钢的结构试验，包括各应用项目，均采用了热轧帽型钢板桩。另一方面，由于冷弯型钢在建筑钢结构中可用于承重及重要构件，故本规范对于冷弯帽型钢板桩的应用做特别规定。设计人员应在对以下各方面进行试验确认的前提下，判断冷弯帽型钢板桩是否适用于Hat+H组合钢板桩支护结构。
  - ① 结构可靠性。适用于Hat+H组合钢板桩支护结构的材料，需要事先经过焊接加工试验、弯曲试验及施工试验等对其性能进行充分的验证。
  - ② 焊接加工性能。适用于Hat+H组合钢板桩支护结构的帽型钢板桩需经过焊接加工试验确定其能否与H型钢进行有效连接。通过焊接加工试验，对焊接前后的钢板桩有效宽度、侧弯、翘曲等进行测量，确认其是否满足10.2.5中所示的允许偏差。
  - ③ 止水性能与施工性能。用于Hat+H组合钢板桩支护结构的帽型钢板桩需通过施工试验等对其止水性和施工性进行确认。
  - ④ 尺寸要求。为了避免焊接变形，腹板的厚度宜达到10.5 mm以上。

⑤ 重要构造物的适用性。由于冷弯钢板桩会在锁口处产生残余应力，可能会成为其在结构上的薄弱点，因此对于永久结构或者开挖深度比较大的临时挡土工程，为保证施工安全性，原则上不宜使用冷弯钢板桩。

⑥ 冷弯帽型钢板桩钢材牌号宜采用Q345、Q390、Q420、Q355NH。

5.1.4 对国外进口帽型钢板桩或H型钢，如既有国外标准，又有相同或相近中国标准，应按中国钢结构工程施工质量验收规范要求验收，可就近就低按中国标准规范取用设计强度，在具体工程中使用。

## 5.2 设计指标与设计参数

5.2.1 此条为强制性条文。

5.2.2 对于《钢结构设计标准》中未列出的钢板桩牌号（例如Q295P）及采用国外进口帽形钢板桩钢材的牌号，应由设计者按照《钢结构设计标准》的相关要求进行设定。当钢材牌号为Q295P或者指标相近的国外钢材牌号时，应当按照《钢结构设计标准》条文说明4.4中表6所示抗力分项系数对设计用强度指标进行设定。设计人员对材料抗力安全性要求较高时，材料抗力分项系数 $\gamma_R$ 可取=1.125，此时设计用强度指标 $f = 295/1.125 = 262\text{N/mm}^2$ 。

## 5.3 防腐

5.3.1.4 通常情况下，腐蚀速度随着含盐浓度降低而降低。河水含盐浓度约为0.01~0.03%，因此，河水（淡水）的腐蚀速度比海水中慢。由于我国对河水条件下钢板桩的腐蚀速度没有足够的调查结果，因此，可以参考日本的调查实例。在日本国土交通省进行的腐蚀调查中，用超声波测厚仪测定钢板桩的板厚，根据其减少量算出腐蚀速度，可以确认，随着氯离子浓度的增加，腐蚀速度趋于增加。当氯离子浓度为1000~2000ppm左右时，腐蚀速度发生较大变化，河水（淡水）中钢板桩的单面平均腐蚀速度约为0.02mm/年。

由于土壤中的氧供给量小于水中等的供给量，腐蚀受到抑制，因此，腐蚀速度一般比水中小。土壤比阻通常被用作判断钢材在土壤中腐蚀速度的标准。土壤比阻越小，电解质浓度越高，腐蚀速度也随之加大。

表 5.3.1.4 淡水及土壤环境中 Hat+H 组合桩的单面平均腐蚀速度参考值

环境		单面平均腐蚀速度（mm/年）	
淡水		0.02	
土壤	土质	地表以下 1~2m 区间或地下水位 30cm 附近	其他区域
	优质砂土	0.04~0.05	0.01~0.02
	砂土、粉砂土质	0.05~0.07	0.01~0.03
	粘土	0.10~0.15	0.03~0.05

5.3.1.5 表 5.3.1.5-1 参考：《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）和《船厂水工构筑物工程 钢板桩技术规范》 GB/T 8528。

表 5.3.1.5-2 参考：《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）和《船厂水工构筑物工程 钢板桩技术规范》 GB/T 8528。

5.3.2.4 表 5.3.2.4 参考：《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）。

5.3.3.8 表 5.3.3.8 参考：《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS 153—3）。

## 5.4 淡水、大气环境以及土壤环境的使用要求

5.4.1 河水含盐浓度为0.01~0.03%。通常，腐蚀速度随着含盐浓度降低而降低，因此，河水（淡水）的腐蚀速度比海水中慢。由于我国对河水条件下钢板桩的腐蚀速度没有足够的调查结果，因此，可以参考日本的调查实例。在日本国土交通省进行的腐蚀调查中，用超声波测厚仪测定钢板桩的板厚，根据其减少量算出腐蚀速度，可以确认，随着氯离子浓度的增加，腐蚀速度趋于增加。当氯离子浓度为1000

~2000ppm左右时，腐蚀速度发生较大变化，河水（淡水）的平均腐蚀速度（两侧总值）约为0.04mm/年。

5.4.2 大气中的腐蚀速度小于水下（淡水），防腐蚀设计参照GB 50046工业建筑防腐蚀设计规范GB 50046和GB/T 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级的规定。

5.4.3 由于土壤中的氧供给量小于水中等的供给量，腐蚀受到抑制，因此，腐蚀速度比水中小。土壤比阻通常被用作判断钢材在土壤中腐蚀速度的标准。土壤比阻越小，电解质浓度越高，腐蚀速度也随之加大。钢材的腐蚀根据调查数据及土壤中水位情况给出参考值，表5.4.3给出了腐蚀速度。

表 5.4.3 土壤中的平均每年腐蚀量

项目土质	地表以下 1~2m 区间或地下水位 30cm 附近 (mm/年)	其他区域 (mm/年)
优质砂土	0.04~0.050	0.01~0.02
砂土 粉砂土质	0.05~0.07	0.01~0.03
粘土	0.10~0.15	0.03~0.05

## 6 基本规定

### 6.1 一般规定

6.1.3 在河道湖泊护岸、码头工程、综合管廊、城市轨道交通出入口、地下停车库等各种应用领域中，Hat+H组合桩可以与其他钢结构构件组合，也可以与钢筋混凝土结构构件组合，以发挥具体工程中不同类型结构的各自特点，并应处理好不同结构形式的连接节点

6.1.6 Hat+H组合桩组合结构设计阶段，应充分研究施工扰动区内既有建筑地基基础、市政给排水设施、综合管廊、电力管线、电信光缆、国防设施等情况。特别地，当本工程规模较大、桩长较长时，应向规划部门咨询本工程地下区域与城市轨道交通等重要地下工程的碰撞与互相影响情况。Hat+H组合桩组合结构施工阶段，施工单位应根据现场出现的各种情况及时与设计单位沟通。

6.1.9 Hat+H组合桩组合结构的设计应根据不同应用场合确定其设计基准期。对支护一般基坑、一般建筑等情况，其设计基准期应与这些类别结构一致，取为50年。

根据GB 50153—2008工程结构可靠性设计统一标准附录A.2及A.3，铁路桥涵结构、公路桥涵结构的设计基准期为100年，因此Hat+H组合桩组合结构应用于铁路桥涵结构、公路桥涵结构时，其设计基准期应取为100年。

6.1.10 根据GB 50068—2018建筑结构可靠性设计统一标准第3.3.3节，建筑结构设计使用年限划分为4个类别，因Hat+H组合桩组合结构适用于建筑结构领域，故本规范亦设定4个类别。

根据JTS 167—2018 码头结构设计规范第3.1.2节，永久性码头结构的设计使用年限应采用50年，临时性码头结构的设计使用年限可采用临时使用的年限或5~10年。结合Hat+H组合桩组合结构的临时性工程特点，例如浅基坑支护、小规模水利工程施工围堰等使用年限一般达不到5年使用期的情况，本表类别1中的设计使用年限亦采用此规定。当Hat+H组合桩组合结构的设计使用年限取临时使用的年限时，其结构重要性系数、分项系数、组合值系数及临时性支护结构调整系数的取值宜与设计使用年限为5年的情况相同。

根据GB50153—2008工程结构可靠性设计统一标准附录A.2及A.3，铁路桥涵结构、公路桥涵结构的设计使用年限为100年，因此应于于铁路桥涵结构、公路桥涵结构的Hat+H组合桩组合结构，其设计使用年限亦取为100年。

6.1.12 对有特殊要求的工程结构，例如重要码头建筑，当其防撞墙采用Hat+H组合桩组合结构时，应考虑在Hat+H组合桩组合结构迎水侧设混凝土保护层，钢材表面宜按一定间距焊接栓钉，以承担Hat+H组合桩组合结构与混凝土保护层之间的剪力。

## 6.2 结构体系及结构选型

6.2.4 此条1、2、3部分选自DB42/T 159—2012基坑工程技术规程第6.4.1节。相应条文说明亦可参照。

6.2.5 Hat+H组合桩在侧向荷载较小时，经计算确定后可采用间隔拼接方式，即“组合桩+帽型桩+组合桩”等组合拼接形式，节省材料。

## 6.3 设计计算原则

6.3.1 要特别指出：①Hat+H组合桩组合结构承载能力极限状态中，应包含因各种原因造成的锈蚀、腐蚀，从而降低结构性能的情形；②Hat+H组合桩组合结构正常使用极限状态中，应包含因各种原因造成的锈蚀、腐蚀，从而影响外观或正常使用的情形。

## 7 支护结构设计

### 7.1 一般规定

7.1.1 Hat+H组合桩的抗弯性能一般是由H型钢外侧翼缘的屈服应力所决定的，因此，组合钢板桩强度设计值或许可用应力（即 $[f]$ ）应采用与帽型钢板桩组合的H型钢的屈服强度。例如，采用牌号为SYW295（ $\sigma_y=295\text{MPa}$ ）的帽型钢板桩与牌号为Q345B（ $\sigma_y=345\text{MPa}$ ）的H型钢组合，则组合钢板桩的许可应力为345MPa。但对于组合式钢板桩重心线至H型钢边缘的截面模量和组合式钢板桩重心线至帽型钢板桩边缘的截面模量相差不大的H+Hat组合型，钢板桩在进行H型钢应力验算时，还应对帽型钢板桩最外缘进行应力验算（使用括弧内的截面模量）。如果帽型钢板桩的截面模量不足，可采用屈服点强度高帽型钢板桩。

7.1.2 当侧向荷载较大时，采用无锚、无支撑Hat+H组合钢板桩支护结构可能导致安全性降低、经济性不佳，故当侧向荷载较大时，Hat+H组合桩组合结构体系宜采用内支撑、桩锚等辅助构件。

### 7.2 基坑支护

7.2.1 说明如下：

- 1) 当对桩锚式结构进行计算时，应符合《板桩码头设计与施工规范》JTS 167—3的相关规定。
- 2) 国内对于双重钢板桩墙的设计没有相关规定，可参考国内外的相关标准进行设计。同样适用于H+Hat的双重钢板桩墙的设计。

7.2.5 转角钢板桩、异形钢板桩止水效果好，但对加工供应及施工有一定的要求。基坑工程为临时工程，参考武汉市钢板桩设计施工经验，若转角处不使用转角钢板桩、异形钢板桩，可施工数根高压旋喷桩，使其紧密贴合钢板桩，达到止水效果。

7.2.6 由于热轧与冷弯的生产工艺区别，热轧钢板桩的锁口截面设计合理，其锁口质量、止水效果优于冷弯钢板桩，故对防渗要求高的工程宜采用热轧帽型钢板桩。

7.2.7 Hat+H组合桩中帽型桩主要起止水及增大结构截面高度、提高结构抗弯刚度的作用。目前帽型钢多依靠进口，适当缩短帽型钢长度，有利于降低成本。在基坑被动土压力区，通常弯矩不大，若无止水要求，可适当缩短帽型钢长度，可以有利于沉桩定位，保护帽型钢锁口不受损坏，且节省帽型钢长度。桩顶H型钢宜比帽型钢长一个冠梁高度以上，即帽型钢不进入冠梁内，有利于冠梁钢筋施工，且避免冠梁拆除时帽型钢板桩锁口受损。但是应注意由于帽型钢未进入冠梁，上层滞水等地下水可能沿冠梁底与帽型钢之间的缝隙流入基坑。这种情况可考虑使帽型钢略进入冠梁或采取其他止水措施。

Hat+H组合桩的帽型钢板桩与H型钢可以选用不同长度。例如，帽型钢板桩的下端在保证满足抗弯要求和开挖底面安全性的前提下可缩短，另外在上端为了保证围檩，内支撑以及拉杆的安装空间也可适当缩短。

7.2.9 在临时工程应用中，Hat+H组合桩可反复插拔利用。但在重复利用过程中，由于可能产生的翘曲、挠曲、破损、塑性变形等降低承载能力的情形，引入了钢板桩重复利用折减系数，并对该系数作出规定。取值参考DBJ04—T328—2016 钢板桩支护技术规程（山西）第4.6.4条之规定。

7.2.10 弹性抗力法是目前国内基坑设计中普遍采用的计算方法，计算理论及计算软件发展成熟，其可以考虑开挖过程，以及基坑开挖对周边环境的影响。故对于一般性基坑工程，建议采用弹性抗力法进行内力及变形计算。

7.2.15 组合型钢板桩的基坑土、水压力计算、土体抗剪强度指标选用、突涌和管涌验算、各种超载计算等传统计算内容与桩身材质关系不大，且作为地方标准，不宜另立条目，造成标准之间的冲突、混淆，故此处与DB42/T 159 基坑工程技术规程保持一致，设计时请参照DB42/T 159执行。

7.2.19 U型钢板桩单根桩的中性轴与钢板桩墙中性轴不一致。当U型钢板桩墙受到土压力或其他水平荷载作用发生弯曲时，由于其锁口位于桩墙中性轴位置，会在锁口处产生很大的弯曲剪切力。此时，如果剪切力不能在锁口连接处充分传递，相邻锁口之间会发生滑脱，钢板桩墙的惯性矩及截面模量也随之降低。设计时需要将未发生滑脱时的截面性能乘以小于1的折减系数（此系数也被称为锁口效率）。鉴于此，U型钢板桩与H型钢组合结构的设计不可直接参考本标准。

而对于帽型钢板桩，单根桩的中性轴与钢板桩墙的中性轴一致。由于其锁口分布于桩墙最外缘，不会在锁口处产生剪切力，因此设计时无需考虑截面性能的折减。帽型钢板桩锁口连接状态导致的截面性能折减系数取1.0。

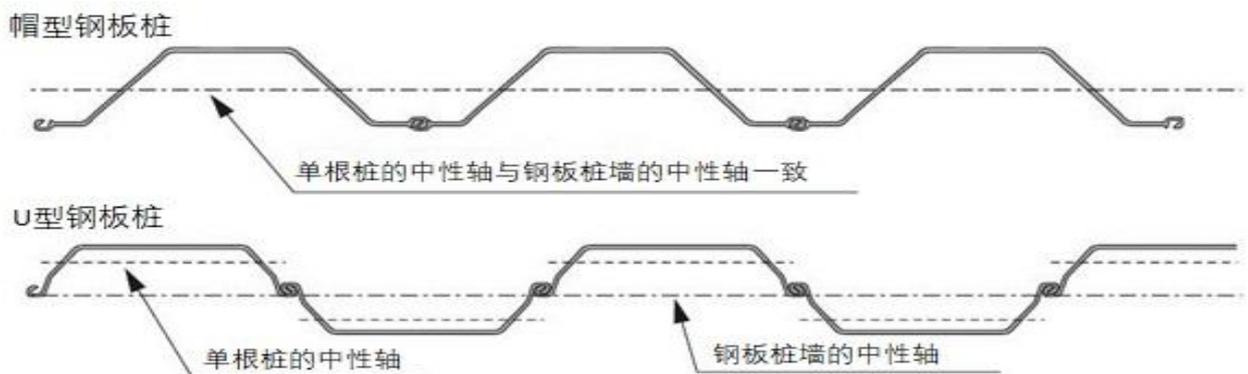


图 7.2.19 帽型钢板桩与 U 型钢板桩中性轴位置对比

7.2.22 由于目前对于桩撑结构的基坑，支护结构计算和内支撑多分开计算，应注意变形不协调的问题，必要时调整支护结构计算时的支撑刚度或内支撑的边界设置，使其相互变形协调。

### 7.3 围堰

Hat+H组合桩用于围堰时，其技术标准可参考GB/T 51295 钢围堰工程技术标准中关于钢板桩围堰有关内容。

### 7.4 防波堤与护岸

Hat+H组合桩用于防波堤与护岸时，其荷载参数及设计边界条件可参考JTS 154 防波堤与护岸设计规范中有关内容。

### 7.5 码头

Hat+H组合桩用于码头时，其技术标准及附属结构构造要求等可参考JTS 167 码头结构设计规范中关于钢板桩围堰有关内容。

### 7.6 （半）地下建设结构

宜将Hat+H组合桩的H型钢置于（半）地下建筑内侧。结构环梁宜采用型钢混凝土结构，内置的型钢构件与H+Hat组合墙体通过高强度螺栓可靠连接；再通过混凝土部分内置的预埋钢筋、剪力槽等方式与主体结构梁板连接。

### 7.7 嵌固深度计算

按照湖北基坑行业习惯，以被动抗力安全系数控制桩嵌入深度。同时对于被动区土质较好的情况下，如老粘土，计算的桩长可能过小，嵌入深度另需满足构造要求。

关于支护桩嵌固深度的考虑，湖北省地方标准DB42/T 159 基坑工程技术规程主要以被动区抗力安全系数来确定。这种算法与弹性抗力法结合紧密，概念明确，便于操作，且多年来已经过实际项目检验。而行业标准JGJ 120—2012 建筑基坑支护技术规程则主要以各种稳定性计算确定嵌固深度，包括但不限于嵌固稳定性、整体滑动稳定性、坑底抗隆起稳定性、以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定性（坑底有软土时），而每种计算又根据悬臂、单层撑锚、多层撑锚又有所不同，计算略显繁琐。故这里遵循湖北省地方标准DB42/T 159 基坑工程技术规程，采用被动区弹性抗力安全系数控制嵌固深度。

土压力标准值可采用朗肯理论公式分层计算。地下水位以上应采用总应力法计算主、被动土压力；地下水位以下土层的土、水压力可采用总应力和有效应力两种方法计算。对粘性土和粉土宜采用总应力法，对粉、细砂宜采用有效应力法，有经验时也可采用总应力法。对中、粗砂及卵砾层应采用有效应力法，有经验时也可采用总应力法。

## 8 构造要求

### 8.2 连接要求

8.2.1 一般的情况下，钢材部件进行焊接加工会发生一定的变形。由于组合钢板桩在焊接加工后需要进行沉桩，可能导致由于焊接加工导致的变形会影响到之后的沉桩性能。组合钢板桩在将帽型钢板桩与H型钢进行焊接加工时，对二者均应进行固定处理。由于焊接加工产生的变形并不会很大，故加工实验中需对由于焊接加工产生的变形量进行验证。本规范编制单位及参编单位进行了加工实验，以NSP—10H型帽型钢板桩+高度为550~900mm的H型钢9种不同的组合为对象，使用二氧化碳气体保护焊接方法实施。堆焊脚长为7mm。焊接率，一般以实际的设计为准。故本次实验的焊接率，采用了实际设计中最普遍的60%焊接率为中心，从30%~100%全面覆盖进行了实验。由验证试验可知，焊接率越大变形量越大。焊接率超过60%的情况下，变形量不随焊接率增加而增加。在60%焊接率的情况下，平均变形量为4mm，并不是很大。

焊接试验得到的钢板桩全幅变形量如表8.2.1所示。分析表8.2.1可知，焊接率越大变形量越大。焊接率超过60%的情况下，变形量不随焊接率增加而增加。在60%焊接率的情况下，平均变形量为4mm，并不是很大。

表 8.2.1 不同焊接率下钢板桩全宽的变化

试验桩编号	长度(m)	焊接率(%)	焊接后全宽变化量(mm)			
			最大	最小	平均	加热矫正后
C—1	15	60	5.5	-1.0	3.6	—
C—2	15	60	5.5	1.0	3.9	—
C—3	15	40	3.5	-0.5	2.3	—
5—1	28	60	7.8	2.0	5.0	—
5—2	28	60	7.4	2.8	4.8	—
5—3	28	60	4.2	2.2	3.2	3.1
9—2	28	100	5.6	-0.6	3.5	3.5
9—3	30	100	7.2	0.4	5.6	4.6

9—4	30	30	7.4	0.6	2.4	—
-----	----	----	-----	-----	-----	---

## 9 施工

### 9.4 Hat+H组合桩施工准备

9.2.1 根据业主与加工方之间的协议，由加工方提供能反映组合结构质量的证明材料，如质量检查报告等。

9.2.4 场地周边环境包括施工用水、用电供应条件，道路交通、建筑、地下管廊及其对施工作业有影响的净空、噪音、振动方面的限制规定，沉桩条件、气象或海象条件以及施工对周边通航等方面的环境影响等。地质条件调查主要包括地层的分布、颗粒组成、密实度、土体强度、静动力触探及标贯试验结果等。应掌握工程所用钢板桩数量、尺寸、截面形状、钢材材质及其施工难易程度。

### 9.5 Hat+H组合桩沉桩

9.5.3 因H+Hat组合型钢板桩结构截面远大于普通钢板桩，且涉及拔桩重复利用，一般不宜采用锤击法。打桩前，可在H+Hat组合型钢板桩的锁口内涂抹油脂，以便于钢板桩的打入、拔出。

9.5.7 在初始端位置和方向打桩要严格控制精度，宜每1m测量一次Hat+H组合桩的水平位置和垂直度。打至预定深度后应立即用钢筋或钢板与围檩临时焊接固定。宜在导梁上沿沉桩行进方向的Hat+H组合桩锁口处设置卡板，阻止桩位移。

## 10 监测

### 10.1 一般规定

10.1.1 Hat+H组合桩施工后，应按照设计要求及现行国家标准GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范、GB/T 20933热轧钢板桩、GB 50300 建筑工程施工质量验收统一标准的规定进行质量检验。对于有特殊要求或国家标准没有具体要求的，可按设计要求或专门制定的检验标准及方法进行检验。

### 10.2 质量检验

10.2.1 Hat+H组合桩的应用范围包括深基坑、护岸、码头等项目，故对其规格和质量提出明确规定是完全必要的。另外，各国进口钢材标准不尽相同，所以规定对进口钢材应按设计和合同规定的标准验收。

Hat+H组合桩初检时间应为成批验收（每批重量不应大于60t）时进行初检，冷弯钢板桩每批应由同一牌号、同一规格的产品组成，热轧钢板桩每批应由同一牌号、同一炉号、同一规格、同一轧制制度的钢材组成。其他要求可参考现行国家标准JG/T 196 钢板桩相关规定。

10.2.2 当型材初检不合格时，即应进行复检。可采用下列两种方法之一进行复验：

- 从同件产品上另取双倍数量试样进行该不合格项目的复验。当复验结果均合格，该批产品为合格品；当复验结果有一个试样不合格，一该批产品为不合格品。
- 直接从同一批产品中另外抽取两件产品各一个试样进行该不合格项目的复验。当复验结果均合格，该批产品为合格品；当复验结果有一个试样不合格，该批产品为不合格品。针对进口材料的复检，其检测项目需确认。

对国外进口的钢材，应进行抽样复验；当具有国家进出口质量检验部门的复验商检报告时，可以不再进行复验。对质量有疑义主要是指：

- 对质量证明文件有疑义时的钢材；
- 质量证明文件不全的钢材；
- 质量证明书中的项目少于设计要求的钢材。

## 附录 B 腐蚀环境分类

B.0.1 大气区腐蚀环境分类表B.0.1参考ISO 12944—2“表1—大气环境腐蚀性分类和典型环境案例”。

B.0.2 表 B.0.2 参考：JTS 153—3 海港工程钢结构防腐蚀技术规范和 GB/T 8528 船厂水工构筑物工程

钢板桩技术规范。

B.0.3 表 B.0.3 参考：JTS 167 码头结构设计规范。

#### 附录 C 常用的封闭剂、封闭涂料和涂装涂料

C.0.1 表 C 参考：GB/T 8528 船厂水工构筑物工程 钢板桩技术规范。

---