

备案号：J XXXXX—20XX

浙江省工程建设标准

DBJ

DBJ 33/T 1XXX—20XX

## 钢板墙和钢板组合墙技术规程

Technical specification for steel plate wall and steel plate and  
concrete composite wall structures

(征求意见稿)

20XX—00—00 发布

20XX—00—01 施行

浙江省住房和城乡建设厅 发布

# 前 言

根据浙江省住房和城乡建设厅《关于印发〈2022年度浙江省建筑节能与绿色建筑及相关工程建设标准制修订计划〉（第三批）》的通知（浙建设发〔2022〕121号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，结合浙江省的实际情况，依据有关标准、国内外先进经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为11章和3个附录。主要内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.非加劲钢板墙；5.加劲钢板墙；6.防屈曲钢板墙；7.钢板组合墙；8.连接与节点；9.钢结构防护；10.制作与安装；11.质量验收。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，杭州铁木辛柯工程设计有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送杭州铁木辛柯工程设计有限公司（地址：浙江省杭州市萧山区民和路630号博地中心B-1502，邮编311215，邮箱fubo@tongmsk.com），以供修订时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人及主要审查人：

**主 编 单 位：**杭州铁木辛柯工程设计有限公司

浙江省建筑设计研究院

浙江大学

**参 编 单 位：**浙江大学建筑设计研究院有限公司

杭州市建筑设计研究院有限公司

浙江省建设投资集团有限公司

宁波市建筑设计研究院有限公司

华汇工程设计集团股份有限公司

杭萧钢构股份有限公司  
浙江中天恒筑钢构有限公司  
浙江东南网架股份有限公司  
浙江中南绿建科技集团有限公司  
浙江越宫钢结构有限公司  
中建八局浙江建设有限公司  
中建三局第一建设工程有限责任公司  
上海大界机器人科技有限公司

**主要起草人：** 付 波 杨学林 童根树

**主要审查人：**

# 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
3.1	一般规定	6
3.2	材料	7
3.3	结构布置	9
3.4	结构变形和舒适度验算	10
3.5	构件承载力设计	11
3.6	结构计算分析	12
3.7	结构抗震性能化设计	17
4	非加劲钢板墙	18
4.1	一般规定	18
4.2	非加劲钢板墙的承载力计算	18
4.3	横放波形钢板墙的承载力计算	25
4.4	竖放波形钢板墙的承载力计算	29
5	加劲钢板墙	32
5.1	一般规定	32
5.2	承载力计算	33
6	防屈曲钢板墙	45
6.1	一般规定	45
6.2	承载力计算	46
7	钢板组合墙	49
7.1	一般规定	49
7.2	一字形钢板组合墙的强度计算	51

7.3	钢板组合墙的稳定计算·····	53
7.4	构造要求·····	58
8	连接与节点·····	63
8.1	一般规定·····	63
8.2	钢板墙与边缘构件的连接·····	63
8.3	钢板组合墙拼接节点·····	65
8.4	钢板组合墙墙脚节点·····	69
8.5	钢梁与钢板组合墙连接节点·····	74
8.6	楼板与钢板组合墙连接节点·····	78
9	钢结构防护·····	81
9.1	抗火设计·····	81
9.2	防腐蚀设计·····	82
10	制作与安装·····	85
10.1	一般规定·····	85
10.2	制作和涂装·····	86
10.3	安装·····	87
10.4	钢板组合墙内混凝土浇筑·····	89
11	质量验收·····	91
11.1	一般规定·····	91
11.2	原材料及成品进场·····	91
11.3	构件加工工程·····	93
11.4	安装和连接·····	97
11.5	钢板组合墙内混凝土工程·····	100
附录 A	钢板剪力墙等效支撑模型·····	102
附录 B	材料非线性本构关系模型·····	104
附录 C	钢板墙和钢板组合墙构件损伤评价·····	110
	本规程用词说明·····	112
	引用标准名录·····	113
附：	条文说明·····	115

# Contents

<b>1</b>	General provisions.....	1
<b>2</b>	Terms and symbols.....	2
<b>2.1</b>	Terms.....	2
<b>2.2</b>	Symbols.....	3
<b>3</b>	Basic requirements.....	6
<b>3.1</b>	General requirements.....	6
<b>3.2</b>	Materials.....	7
<b>3.3</b>	Arrangement of structure.....	9
<b>3.4</b>	Deformation for structures and members and comfort.....	10
<b>3.5</b>	Design on strength of structural members.....	11
<b>3.6</b>	Structural analysis and calculation.....	12
<b>3.7</b>	Performance design in seismic resistance of structure.....	17
<b>4</b>	Unstiffened steel plate wall(USPW).....	18
<b>4.1</b>	General requirements.....	18
<b>4.2</b>	Calculation on resistance of USPW.....	18
<b>4.3</b>	Calculation on resistance of horizontal corrugated SPW...	25
<b>4.4</b>	Calculation on resistance of vertical corrugated SPW...	29
<b>5</b>	Stiffened steel plate wall.....	32
<b>5.1</b>	General requirements.....	32
<b>5.2</b>	Calculation on resistance.....	33
<b>6</b>	Buckling-restrained steel plate wall.....	45
<b>6.1</b>	General requirements.....	45
<b>6.2</b>	Calculation on resistance.....	46
<b>7</b>	Steel plate and concrete composite wall(SPCW).....	49
<b>7.1</b>	General requirements.....	49
<b>7.2</b>	Strength calculation of linear shaped SPCW.....	51

7.3	Stability calculation of SPCW	53
7.4	Detailing requirements	58
<b>8</b>	<b>Design of joints</b>	<b>63</b>
8.1	General requirements	63
8.2	Boundary members-SPW joints	63
8.3	Connection joints of SPCW	65
8.4	Wall footing of SPCW	69
8.5	Beam-SPCW joints	74
8.6	Slab-SPCW joints	78
<b>9</b>	<b>Protection of steel structures</b>	<b>81</b>
9.1	Fire-resistance design	81
9.2	Corrosion prevention design	82
<b>10</b>	<b>Fabrication and erection</b>	<b>85</b>
10.1	General requirements	85
10.2	Fabrication and coating	86
10.3	Installation	87
10.4	Concrete pouring of SPCW	89
<b>11</b>	<b>Acceptance for quality</b>	<b>91</b>
11.1	General requirements	91
11.2	Materials and products approach	91
11.3	Processing of components	93
11.4	Installation and connection	97
11.5	Concrete project of SPCW	100
<b>Appendix A</b>	<b>Equivalent support model of SPW</b>	<b>102</b>
<b>Appendix B</b>	<b>Nonlinear constitutive model of materials</b>	<b>104</b>
<b>Appendix C</b>	<b>Damage assessment of SPW and SPCW</b>	<b>110</b>
	Explanation of wording in this standard	112
	List of quoted standards	113
	Addition: Explanation of provisions	115

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范钢板墙和钢板组合墙结构在工程建设中的应用，做到安全适用、技术先进、经济合理，确保质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于浙江省工业与民用建筑中钢板墙和钢板组合墙结构的设计、制作安装与验收。

**1.0.3** 钢板墙和钢板组合墙结构的设计、施工与验收，除应符合本规程外，尚应符合国家和浙江省现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 钢板墙 steel plate wall

设置在框架梁柱间的钢板墙体，以承担水平剪力为主，也可用于承担竖向力。

#### 2.1.2 非加劲钢板墙 unstiffened steel plate wall

仅由钢板独立构成的钢板墙。

#### 2.1.3 加劲钢板墙 stiffened steel plate wall

在钢板上设置加劲肋以增加平面外刚度的钢板墙。

#### 2.1.4 防屈曲钢板墙 buckling-restrained steel plate wall

在钢板面外设置刚性约束构件以抑制平面外屈曲，使钢板达到屈服强度并充分耗能的钢板墙。

#### 2.1.5 钢板组合墙 steel plate and concrete composite wall

由两侧外包钢板和中间内填混凝土组合而成并共同工作的组合构件。

#### 2.1.6 封闭多腔钢管混凝土组合墙 concrete filled multi-chamber tube composite wall

通过在外包钢板之间设置与外包钢板连续焊接的分腔钢板，将墙体分隔成多个竖向通长空腔，并在腔内浇筑混凝土形成的组合墙。

#### 2.1.7 点状拉结双钢板组合墙 point tied double steel plate composite wall

通过设置按一定方式排布的拉结螺杆来连接墙体两侧外包钢板，并在外包钢板之间浇筑混凝土形成的组合墙。

#### 2.1.8 钢框架-钢板墙结构 steel frame-steel plate wall structure

由钢框架和钢板墙共同承受竖向和水平作用的结构。

**2.1.9 钢框架-钢板墙核心筒结构 steel frame-steel plate core wall structure**

由钢框架和钢板墙围成的核心筒共同承受竖向和水平作用的结构。

**2.1.10 钢板组合墙结构 steel plate and concrete composite wall structure**

由钢板组合墙组成的承受竖向和水平作用的结构。

**2.1.11 钢框架 - 钢板组合墙结构 steel frame-steel plate and concrete composite wall structure**

由钢框架和钢板组合墙共同承受竖向和水平作用的结构。

**2.1.12 钢框架-钢板组合墙核心筒结构 steel frame-steel plate and concrete composite core wall structure**

由钢框架和钢板组合墙围成的核心筒共同承受竖向和水平作用的结构。

## 2.2 符 号

**2.2.1 作用、作用效应和抗力**

$S$  ——荷载效应组合设计值；

$G$  ——重力荷载代表值；

$R$  ——承载力设计值；

$N$  ——轴心力设计值；

$N_{un}$  ——轴心受压时净截面受压承载力设计值；

$N_u$  ——轴心受压时截面受压承载力设计值；

$N_{uk}$  ——轴心受压时截面受压承载力标准值；

$N_E$  ——欧拉临界力；

$M$  ——弯矩设计值；

$M_u$  ——截面受弯承载力设计值；

$M_{u,n}$  ——净截面受弯承载力设计值；

$M_{uk}$  ——截面全塑性受弯承载力标准值；

$V$  ——剪力设计值。

### 2.2.2 材料指标

$E_s$  ——钢材的弹性模量；

$E_c$  ——混凝土的弹性模量；

$G_s$  ——钢材的剪切模量；

$G_c$  ——混凝土的剪切模量；

$\mu_s$  ——钢材的泊松比；

$\mu_c$  ——混凝土的泊松比；

$f$  ——钢材强度设计值；

$f_c$  ——混凝土抗压强度设计值；

$f_y$  ——钢材屈服强度标准值；

$f_{ck}$  ——混凝土抗压强度标准值；

$f_v$  ——钢材抗剪强度设计值；

$f_{vk}$  ——钢材的抗剪强度标准值。

### 2.2.3 几何参数

$H$  ——房屋高度；

$H_c$  ——钢板墙的净高 (mm)；

$I_s$  ——组合墙钢板部分的截面惯性矩；

$I_c$ ——组合墙混凝土部分的截面惯性矩；

$A_s$ ——组合墙钢板部分的截面面积；

$A_{sn}$ ——组合墙钢板部分的净截面面积；

$A_c$ ——组合墙混凝土部分的截面面积；

$b_s$ ——波形钢板墙的宽度（mm）；

$t_w$ ——波形钢板墙厚度（mm）；

$t_p$ ——钢板墙的厚度；

$J_s$ ——自由扭转常数。

#### 2.2.4 计算系数及其他

$\gamma$ ——系数；

$\gamma_0$ ——结构重要性系数；

$\gamma_{RE}$ ——承载力抗震调整系数；

$\eta_{vw}$ ——墙体剪力增大系数；

$\alpha_{ck}$ ——混凝土工作承担系数；

$\varphi$ ——轴心受压构件的稳定系数；

$\lambda_0, \lambda_n$ ——正则化长细比；

$\lambda$ ——钢板墙的相对高厚比；

$l_0$ ——轴心受压构件的计算长度；

$\varepsilon_k$ ——钢号修正系数；

$\chi$ ——嵌固系数；

$k$ ——屈曲系数；

$n_v$ ——加劲肋的道数；

$\eta_j$ ——连接系数。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 多、高层民用建筑可采用钢框架-钢板墙结构、钢框架-钢板墙核心筒结构、钢板组合墙结构、钢框架-钢板组合墙结构、钢框架-钢板组合墙核心筒结构。

**3.1.2** 建筑的抗震设防类别应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223 的规定进行确定。本规程中的甲类建筑、乙类建筑、丙类建筑分别为现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223 中的特殊设防类、重点设防类、标准设防类的简称。

**3.1.3** 乙类和丙类钢板墙和钢板组合墙结构适用的最大高度应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 钢板墙和钢板组合墙结构最大适用高度 (m)

结构体系	设防烈度	
	6 度, 7 度 (0.10g)	8 度(0.20g)
钢框架-钢板墙结构	240	200
钢框架-钢板墙核心筒结构	250	200
钢板组合墙结构	200	160
钢框架-钢板组合墙结构		
钢框架-钢板组合墙核心筒结构	250	200

注：1 甲类建筑，6、7 度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的规定；  
2 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；  
3 超过表内高度的房屋，应进行专门的研究和论证，采取有效的加强措施；  
4 框架柱包括钢柱和钢管混凝土柱。

**3.1.4** 钢板墙、钢板组合墙结构高宽比不宜超过表 3.1.4 的规定。

**表 3.1.4 钢板墙和钢板组合墙结构最大适用高宽比**

设防烈度	6 度， 7 度 (0.10g)	8 度(0.20g)
最大高宽比	7	6

注：1 计算高宽比的高度从室外地面算起；

2 当塔形建筑底部有大底盘时，计算高宽比的高度从大底盘顶部算起。

**3.1.5** 各抗震设防类别钢板墙和钢板组合墙结构的抗震措施应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的有关规定。

**3.1.6** 钢板墙和钢板组合墙结构抗震等级应根据抗震设防分类、抗震设防烈度、结构体系和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。丙类建筑的抗震等级应按表 3.1.6 确定。

**表 3.1.6 钢板墙和钢板组合墙结构丙类建筑抗震等级**

房屋高度	设防烈度		
	6 度	7 度 (0.10g)	8 度(0.20g)
≤50m	四	三	二
>50m	四	三	二

注：1 高度接近或等于高度分界时，应结合房屋不规则程度及场地、地基条件适当确定抗震等级；

2 构件的抗震等级应与结构相同，当某个部位各构件的承载力均满足 2 倍地震组合下的内力要求时，7~8 度的构件抗震等级应允许按降低 1 度确定。

## 3.2 材料

**3.2.1** 钢材的选用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 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，高层建筑结构钢材的选用尚应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

**3.2.2** 钢材牌号宜采用 Q235、Q355、Q390、Q420、Q460 和 Q345GJ，质量等级不应低于 B 级，其质量应分别符合国家现行标准《碳素

结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《建筑结构用钢板》GB/T19879 的规定，当有可靠依据时也可采用其它牌号的钢材。

**3.2.3** 矩形钢管可采用冷弯成型的直缝焊接管或热轧管，也可采用冷弯型钢或热轧钢板、型钢焊接成型的矩形管。焊缝可采用高频焊、自动或半自动焊和手工对接焊缝。当采用冷弯成型的矩形钢管时，应满足现行行业标准《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178 中 I 级产品的规定。

**3.2.4** 当采用热轧成型钢管或由热轧钢板、型钢焊接组成的矩形钢管时，钢材的强度指标和其他物理性能指标应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定采用；当采用冷弯成型或由冷弯型钢焊接组成的矩形钢管时，钢材的强度指标应按现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的有关规定采用。

**3.2.5** 钢板组合墙和钢管混凝土柱内混凝土强度等级不应低于 C30，不宜高于 C80。

**3.2.6** 钢板组合墙厚度、矩形钢管柱宽度小于 200mm 时应采用自密实混凝土，不小于 200mm 时宜采用自密实混凝土，也可采用普通混凝土。采用普通混凝土时，应采取适当振捣措施。

**3.2.7** 混凝土强度等级、力学性能和质量标准应按国家现行标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。自密实混凝土的配合比设计应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的有关规定。

**3.2.8** 钢板墙和钢板组合墙结构用焊接材料应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB50661 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

**3.2.9** 钢板墙和钢板组合墙结构连接用紧固件材料应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

**3.2.10** 钢板墙和钢板组合墙结构防腐涂料、稀释剂和固化剂，应

按现行国家标准《涂料产品分类和命名》GB/T 2705 和设计文件的要求选用，其品种、规格、性能等应符合国家现行有关产品标准和设计文件的要求。

**3.2.11** 富锌防腐涂料的锌含量应符合现行行业标准《富锌底漆》HG/T 3668 和设计文件的有关规定。

**3.2.12** 钢板墙和钢板组合墙结构用防火涂料，应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 和设计文件的要求。

### 3.3 结构布置

**3.3.1** 钢板墙、钢板组合墙的布置宜符合下列规定：

1 抗侧力结构的平面布置宜规则，宜沿平面两个主轴方向或其他合适的方向双向布置墙体；

2 墙体宜均匀布置在建筑物的周边、楼电梯间、住宅分户墙等部位；

3 纵、横一字形组合墙宜相连组成 L 形、T 形和 [ 形等形式；

4 单片墙底部承担的水平剪力不宜超过结构底部总水平剪力的 30%；

5 墙体宜自下到上连续布置。

**3.3.2** 在钢框架-钢板墙和钢框架-钢板墙核心筒结构中，可采用非加劲钢板墙或加劲钢板墙。

**3.3.3** 钢板墙宜满布于框架。当钢板墙一侧或者两侧无法与框架柱连接时，应在自由边缘设置竖向加劲构件，刚度应满足本规程第 4.2.9 条竖向加劲肋刚度的规定，框架的梁柱节点应考虑钢板墙剪力竖向分力的作用。

**3.3.4** 钢板墙宜相对于边缘构件居中布置，当框架梁相对于柱存在偏心时，钢板墙应优先相对于钢梁居中放置，且应保证柱子在钢板墙偏心荷载作用下的整体扭转刚度，钢柱的锚固刚度应符合本规程第 4.2.2 条的规定。

**3.3.5** 抗震设计时，钢板组合墙底部加强部位范围，应符合下列

规定:

1 墙底部加强部位高度, 应从地下室顶板算起。

2 当钢板组合墙结构房屋高度大于 24m 时, 底部加强部位高度可取底部两层和墙体总高度的 1/10 二者的较大值; 房屋高度不大于 24m 时, 底部加强部位可取底部一层。

3 当钢板组合墙结构计算嵌固端位于地下一层的底板或以下时, 底部加强部位尚宜向下延伸到计算嵌固端。

**3.3.6** 核心筒的设计宜符合下列规定:

1 墙肢宜均匀、对称布置;

2 筒体角部附近不宜开洞, 当不可避免时, 筒角内壁至洞口的距离不应小于 400mm 和开洞墙截面厚度的较大值。

3 核心筒外墙不宜在水平方向连续开洞, 洞间墙肢的截面高度不宜小于 1.2m。

4 核心筒宜贯通建筑物全高。核心筒的宽度不宜小于筒体总高的 1/12, 当筒体结构设置角筒等其他增强结构整体刚度的构件时, 核心筒的宽度可适当减小。

**3.3.7** 在核心筒结构的周边柱间应设置框架梁。

### 3.4 结构变形和舒适度验算

**3.4.1** 在风荷载或多遇地震标准值作用下, 按弹性方法计算的钢板墙和钢板组合墙结构楼层层间最大水平位移与层高之比不宜大于表 3.4.1 的数值。

**表 3.4.1 弹性层间位移角限值**

结构体系	风荷载		多遇地震	
钢框架-钢板墙(核心筒)结构	1/250		1/250	
钢板组合墙结构 钢框架-钢板组合墙结构 钢框架-钢板组合墙核心筒结构	住宅建筑	其他建筑	住宅建筑	其他建筑
	1/400	1/300	1/300	1/250

**3.4.2** 钢板墙和钢板组合墙结构在罕遇地震作用下的弹塑性变形验算应符合下列规定:

1 下列结构应进行弹塑性变形验算：

- 1) 甲类建筑；
- 2) 房屋高度大于 150m 结构；
- 3) 采用隔震和消能减震设计的结构。

2 下列结构宜进行弹塑性变形验算：

- 1) 表 3.4.2 规定的高度范围且为竖向不规则类型的结构；

表 3.4.2 弹塑性变形验算的竖向不规则结构高度

烈度、场地类别	房屋高度 (m)
8 度I、II类场地和 7 度	>100
8 度III、IV类场地	>80

- 2) 7 度III、IV类场地的乙类建筑。

**3.4.3** 在罕遇地震作用下，钢框架-钢板墙（核心筒）结构薄弱层或薄弱部位弹塑性层间位移不应大于层高的 1/50，钢板组合墙结构、钢框架-钢板组合墙结构、钢框架-钢板组合墙核心筒结构不应大于层高的 1/70。

**3.4.4** 钢板墙和钢板组合墙结构风振舒适度验算及楼盖结构舒适度验算应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 和《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441 的有关规定。

### 3.5 构件承载力设计

**3.5.1** 钢板墙和钢板组合墙构件的承载力应满足下列公式要求：

- 1 持久设计状况、短暂设计状况：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (3.5.1-1)$$

- 2 地震设计状况：

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (3.5.1-2)$$

式中： $\gamma_0$ ——结构重要性系数，应符合现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 的规定；

$S$ ——作用组合的效应设计值：应符合现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 的规定；

$R$ ——构件承载力设计值；

$\gamma_{RE}$ ——构件承载力抗震调整系数。

**3.5.2** 钢构件及钢管混凝土柱的承载力抗震调整系数应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 和现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。钢板组合墙构件承载力抗震调整系数，正截面承载力验算时应取 0.8，抗剪承载力验算时应取 0.8。当仅计算竖向地震作用时，结构构件承载力抗震调整系数均应取 1.0。

### 3.6 结构计算分析

**3.6.1** 荷载的标准值、荷载分项系数、荷载组合值系数等应符合现行标准《工程结构通用规范》GB 55001 和《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定；地震作用的计算应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

**3.6.2** 在竖向荷载、风荷载以及多遇地震作用下，结构的内力和变形可采用弹性方法计算；在罕遇地震作用下结构的弹塑性变形可采用弹塑性时程分析法或静力弹塑性分析法计算。

**3.6.3** 当设计措施能保证楼盖平面内的整体刚度时，可假定楼盖在其自身平面内为无限刚性计算结构内力与变形。当楼盖可能产生较明显的面内变形时，应考虑楼盖平面内的实际刚度及变形对结构内力与变形的影响。

**3.6.4** 计算各振型地震影响系数所采用的结构自振周期，应考虑非承重填充墙的刚度影响予以折减。当非承重墙体为轻质砌块、轻质墙板或外挂墙板时，自振周期的折减系数可取 0.9~1.0。

**3.6.5** 保证结构的整体稳定性，应符合下列规定：

1 钢框架-钢板墙(核心筒)结构刚度应满足下式要求：

$$EJ_d \geq 0.7H^2 \sum_1^n G_i \quad (3.6.5-1)$$

2 钢板组合墙结构、钢框架-钢板组合墙结构、钢框架-钢板组合墙核心筒结构刚度应满足下式要求：

$$EJ_d \geq 1.0H^2 \sum_1^n G_i \quad (3.6.5-2)$$

式中： $EJ_d$ ——结构一个主轴方向的弹性等效侧向刚度 ( $\text{kN}\cdot\text{mm}^2$ )，可按倒三角形分布荷载作用下结构顶点位移相等的原则，将结构的侧向刚度折算为竖向悬臂受弯构件的等效侧向刚度；

$H$ ——房屋高度 ( $\text{mm}$ )；

$G_i$ ——分别为第  $i$  楼层重力荷载设计值 ( $\text{kN}$ )，取 1.3 倍的永久荷载标准值与 1.5 倍的楼面可变荷载标准值的组合值；

$n$ ——总楼层数。

3 结构的整体稳定性也可根据屈曲分析结果来进行判断，此时与结构最低阶整体屈曲模态对应的屈曲因子应符合下列规定：

1) 钢框架-钢板墙(核心筒)结构的屈曲因子不应小于 5；

2) 钢板组合墙结构、钢框架-钢板组合墙结构、钢框架-钢板组合墙核心筒结构的屈曲因子不应小于 7.5。

**3.6.6** 结构弹性计算模型应根据结构实际情况确定，应能较准确地反映结构中各构件的实际受力情况，并应计入重力二阶效应的影响。当采用二阶弹性分析方法时，假想水平荷载的取值宜符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

**3.6.7** 结构弹性分析时，应考虑下列变形：

1 梁的弯曲、剪切、扭转变形，必要时考虑轴向变形；

2 柱、钢板组合墙的弯曲、剪切、扭转、轴向变形；

3 钢板墙的剪切变形，当钢板墙承受竖向荷载时，还应考虑弯曲、轴向变形。

**3.6.8** 钢板墙的内力分析模型应符合下列规定：

1 当充分利用拉力场强度时，钢板墙可采用剪切膜单元参与结构的整体内力分析，剪切模量取钢材剪变模量的 0.6 倍；当采用板壳单元时，应确保轴向刚度和平面外抗弯刚度足够小，不影响

竖向构件的内力大小。

2 钢板墙也可按抗侧刚度相等的原则等代为交叉支撑，具体等代方法可见本规程附录 A。对充分利用拉力场强度的情况，在进行支撑等代时，钢板的剪切模量应取钢材剪切模量的 0.6 倍；

3 钢板墙仅考虑梁锚固拉力场时，内力分析模型中，剪切模量折减系数取 0.7；

4 参与承担竖向荷载的钢板墙，宜采用各向同性的平面应力单元参与结构整体的内力分析；也可采用正交异性板单元进行分析。内力分析模型中，竖向加劲肋可均摊计入竖向轴压刚度。

**3.6.9** 波形钢板墙的弹性分析中，截面剪切刚度的计算应符合下列规定：

1 横放的单块波形钢板墙的截面剪切刚度应按下式计算：

$$K_s = \frac{1}{\omega_s} G_s b_s t_w \quad (3.6.9-1)$$

$$\omega_s = \frac{s}{b_0} \quad (3.6.9-2)$$

式中： $K_s$ ——波形钢板墙截面剪切刚度（N）；

$G_s$ ——钢材的剪切模量（N/mm<sup>2</sup>）；

$b_s$ ——波形钢板墙的宽度（mm）；

$\omega_s$ ——波形钢板展开长度与波长的比值；

$b_0$ ——波形钢板墙波长（mm）；

$t_w$ ——波形钢板墙厚度（mm）；

$s$ ——波形钢板墙单个波展开后的长度（mm）。

2 竖放的波形钢板墙，按照正交异性板建模分析，正交异性板的刚度为

$$B_{xx} = E\omega_s t_{\text{wall}}, B_{yy} = \beta E t_{\text{wall}}, G_{xy} = \frac{1}{\omega_s} G t_{\text{wall}}, B_{xy} = -\beta \nu t_{\text{wall}} \quad (3.6.9-3)$$

**3.6.10** 计算结构弹性阶段的内力和位移时，钢板组合墙构件的截面刚度宜按下列公式计算：

$$EA = E_s A_s + E_c A_c \quad (3.6.10-1)$$

$$EI = E_s I_s + E_c I_c \quad (3.6.10-2)$$

$$GA = G_s A_s + G_c A_c \quad (3.6.10-3)$$

式中：  $EA$  ——构件的截面轴压刚度（N）；

$EI$  ——构件的截面抗弯刚度（ $N \cdot mm^2$ ）；

$GA$  ——构件的截面剪切刚度（N）；

$E_s$  ——钢材的弹性模量（ $N/mm^2$ ）；

$E_c$  ——混凝土的弹性模量（ $N/mm^2$ ）；

$G_s$  ——钢材的剪变模量（ $N/mm^2$ ）；

$G_c$  ——混凝土的剪变模量（ $N/mm^2$ ）；

$A_s$  ——组合墙钢板部分的截面面积（ $mm^2$ ）；

$A_c$  ——组合墙混凝土部分的截面面积（ $mm^2$ ）；

$I_s$  ——组合墙钢板部分的截面惯性矩（ $mm^4$ ）；

$I_c$  ——组合墙混凝土部分的截面惯性矩（ $mm^4$ ）。

**3.6.11** 钢框架-钢板墙结构、钢框架-钢板组合墙结构的框架部分按刚度分配计算得到的地震层剪力应乘以调整系数，达到不小于结构总地震剪力的 25%和框架部分计算最大层剪力 1.8 倍二者的较小值。

**3.6.12** 钢框架-钢板组合剪力墙结构应根据在规定的水平力作用下结构底层框架部分承受的倾覆力矩与结构总地震倾覆力矩的比值，确定相应的设计方法，并应符合下列规定：

1 框架部分承受的地震倾覆力矩不大于结构总地震倾覆力矩的 10%时，按钢板组合剪力墙结构设计；

2 框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 10%时，按钢框架-钢板组合剪力墙结构设计。

**3.6.13** 筒体结构的框架部分按侧向刚度分配的楼层地震剪力标

准值应符合下列规定：

1 框架部分分配的楼层地震剪力标准值的最大值不宜小于结构底部总地震剪力标准值的 10%；

2 当框架部分分配的地震剪力标准值的最大值小于结构底部总地震剪力标准值的 10%时，各层框架部分承担的地震剪力标准值应增大到结构底部总地震剪力标准值的 15%；此时，各层核心筒墙体的地震剪力标准值宜乘以增大系数 1.1，但可不大于结构底部总地震剪力标准值，墙体的抗震构造措施应提高一级，已为一级时需要采取比一级更有效的抗震构造措施；

3 当框架部分分配的地震剪力标准值小于结构底部总地震剪力标准值的 25%，但其最大值不小于结构底部总地震剪力标准值的 10%时，应按结构底部总地震剪力标准值的 25%和框架部分楼层地震剪力标准值中最大值的 1.8 倍二者的较小值进行调整。

4 按本条第 2 款或第 3 款调整框架柱的地震剪力后，框架柱端弯矩及与之相连的框架梁端弯矩、剪力应进行相应调整。

5 有加强层时，本条框架部分分配的楼层地震剪力标准值的最大值不应包括加强层及其上、下层的框架剪力。

**3.6.14** 抗震设计时，钢板组合墙底部加强部位的截面组合剪力设计值应按下列公式调整：

$$V = \eta_{vw} V_w \quad (3.6.14)$$

式中： $V$ ——墙体底部加强部位截面组合的剪力设计值（N）；

$V_w$ ——墙体底部加强部位截面组合的剪力计算值（N）；

$\eta_{vw}$ ——墙体剪力增大系数，二级可取 1.6，三级可取 1.4，四级可取 1.2。

**3.6.15** 结构弹塑性分析时，应计入梁的弹塑性弯曲变形、柱在轴力和弯矩作用下的弹塑性变形以及钢板墙、钢板组合墙构件的弹塑性剪切变形。

**3.6.16** 结构弹塑性分析时，钢柱、钢梁的恢复力模型和骨架曲线可采用二折线模型，其滞回模型可不考虑刚度退化；钢板组合墙

构件可采用纤维模型或分层壳模型；钢板墙可采用等效支撑分析模型，等效方法可按本规程附录 A 的规定采用。材料的本构关系模型可按本规程附录 B 的规定采用。

**3.6.17** 钢板墙和钢板组合墙结构的阻尼比应符合下列规定：

**1** 多遇地震作用下，钢板组合墙结构房屋高度不大于 50m 时可取 0.04；房屋高度大于 50m 且小于 100m 时可取 0.035；房屋高度不小于 100m 且小于 200m 时宜取 0.03；房屋高度不小于 200m 时宜取 0.02；

**2** 多遇地震作用下，钢框架-钢板剪力墙(核心筒)结构房屋阻尼比宜按《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定采用；

**3** 风荷载作用下内力和变形计算时，阻尼比可取 0.01~0.02；风振舒适度验算时，阻尼比可取 0.01~0.015。

**4** 在罕遇地震下的弹塑性分析，阻尼比可取 0.05。

### 3.7 结构抗震性能化设计

**3.7.1** 当钢板墙和钢板组合墙结构采用抗震性能化设计时，应根据抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构类型和不规则性、建筑使用功能和附属设施功能的要求、投资大小、震后损失和修复难易程度等，选用适宜的结构抗震性能目标。

**3.7.2** 结构及构件抗震性能化设计的性能目标、性能水准和计算方法，可按国家现行标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑抗震性能化设计规程》DBJ 33/T 1318 的有关规定执行，也可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定执行。钢板墙构件和钢板组合墙构件的损伤评价可按附录 C 的规定采用。

## 4 非加劲钢板墙

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 非加劲钢板墙可利用钢板屈曲后强度承担剪力。

**4.1.2** 采用非加劲钢板墙时，宜采取措施以减少重力荷载传递至墙体。当钢板墙在层高范围内的高宽比大于 1.6 时，宜采用水平加劲肋将钢板墙进行分割，水平加劲肋可单面或双面设置，水平加劲肋的刚度应符合本规程第 4.2.7 条的规定。

**4.1.3** 钢板墙和波形钢板墙中钢板的厚度不宜小于 3mm。

**4.1.4** 波形钢板墙棱线横放时，只参与抗剪；棱线竖放时，波形钢板参与承担竖向荷载和弯矩。在承受垂直板面荷载时，波形钢板墙仅承受平行棱线方向的单向弯矩作用。

**4.1.5** 非加劲钢板墙的相对高厚比宜符合下列公式规定：

$$\lambda \leq 600 \quad (4.1.5-1)$$

$$\lambda = \frac{H_c}{t_p \varepsilon_k} \quad (4.1.5-2)$$

式中： $\lambda$ ——钢板墙的相对高厚比；

$H_c$ ——钢板墙的净高（mm）；

$t_p$ ——钢板墙的厚度（mm）；

$\varepsilon_k$ ——钢号修正系数， $\varepsilon_k = \sqrt{235 / f_y}$ ；

$f_y$ ——钢材的屈服强度。

### 4.2 非加劲钢板墙的承载力计算

**4.2.1** 非加劲钢板墙的形式如图 4.2.1 所示各种形式，包括使钢板墙区格接近方形而设置了 1 道~2 道竖向稀疏加劲肋（图 4.2.1b）、横向稀疏加劲肋（图 4.2.1c）分隔的钢板墙，也包括开门洞钢板墙。

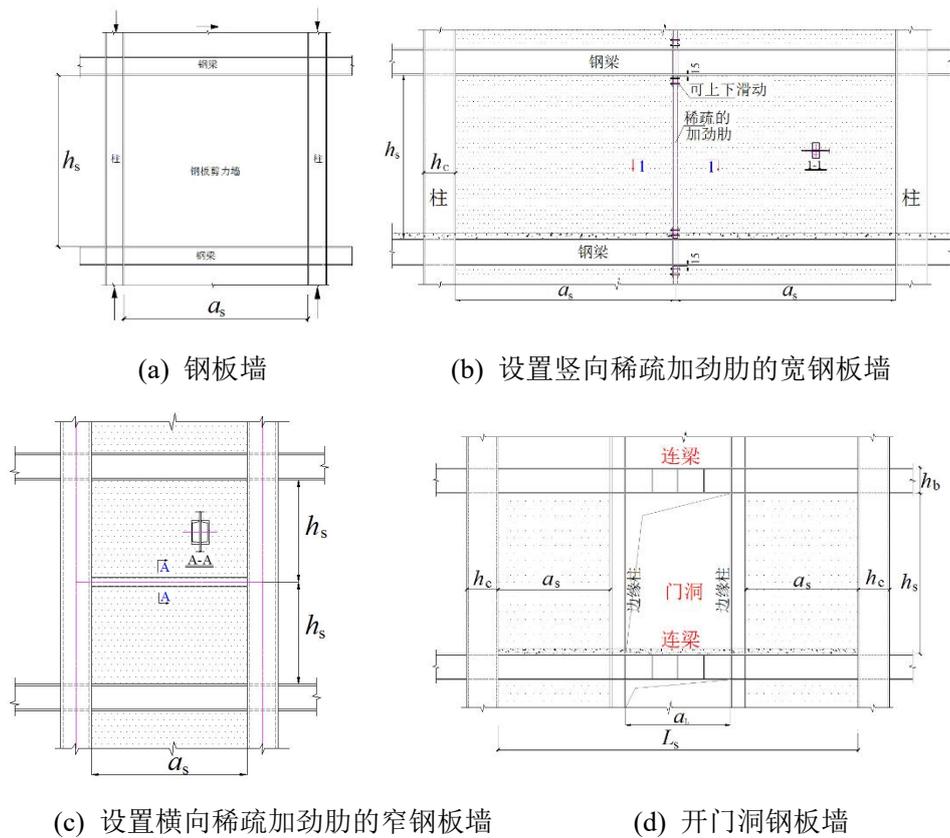


图 4.2.1 典型非加劲钢板剪力墙

4.2.2 当边缘构件在钢板墙面内方向的有效约束刚度满足下列条件时，非加劲钢板墙内可形成完全拉力场：

$$I_{ce} \geq \frac{0.0032t_p h_s^4}{a_s} \quad (4.2.2-1)$$

$$I_{be} \geq \frac{0.0032t_p a_s^4}{h_s} \quad (4.2.2-2)$$

式中：  $I_{ce}$ ——边缘柱的有效约束抗弯惯性矩（ $\text{mm}^4$ ）；

$I_{be}$ ——边缘梁的有效约束抗弯惯性矩（ $\text{mm}^4$ ）；

$h_s$ ——钢板墙区格的高度（ $\text{mm}$ ）；

$a_s$ ——钢板墙区格的宽度（ $\text{mm}$ ）。

4.2.3 当边缘柱的有效约束刚度不满足本规程式(4.2.2-1)时，可按照钢梁锚固拉力场的方法设计未加劲钢板剪力墙，并应满足本规

程第 4.2.8 条的规定。

**4.2.4** 非加劲钢板墙，按完全拉力场设计时，应满足下式要求：

$$\tau \leq \frac{\sqrt{3}}{2} f_v = 0.5f \quad (4.2.4)$$

式中： $f_v$ ——钢板剪切强度设计值（N/mm<sup>2</sup>）；

$\tau$ ——钢板墙的平均水平剪应力（N/mm<sup>2</sup>）。

**4.2.5** 当钢板墙与边缘构件腹板对齐放置时，腹板厚度不应小于钢板墙厚度。当竖向边缘构件的截面为钢管或钢管混凝土时，应在钢管附近设置竖向加劲肋，竖向加劲肋与钢管管壁组成的截面作为边缘构件对钢板墙形成有效约束作用。竖向加劲肋两端应与钢梁连接，且在钢梁对应位置需设置横向加劲肋。钢管管壁参与边缘构件工作的有效宽度可按下列公式进行计算：

$$\text{计算刚度时：} b_c = 0.3h_s \quad (4.2.5-1)$$

$$\text{计算强度时：} b_c = \min(0.3h_s, 30\varepsilon_k t_c, 15\varepsilon_k t_c + c) \quad (4.2.5-2)$$

式中： $b_c$ ——有效宽度，不应超过实际宽度（mm）；

$t_c$ ——矩形钢管柱壁板厚度（mm）；

$c$ ——钢板墙中面到柱边的距离（mm）。

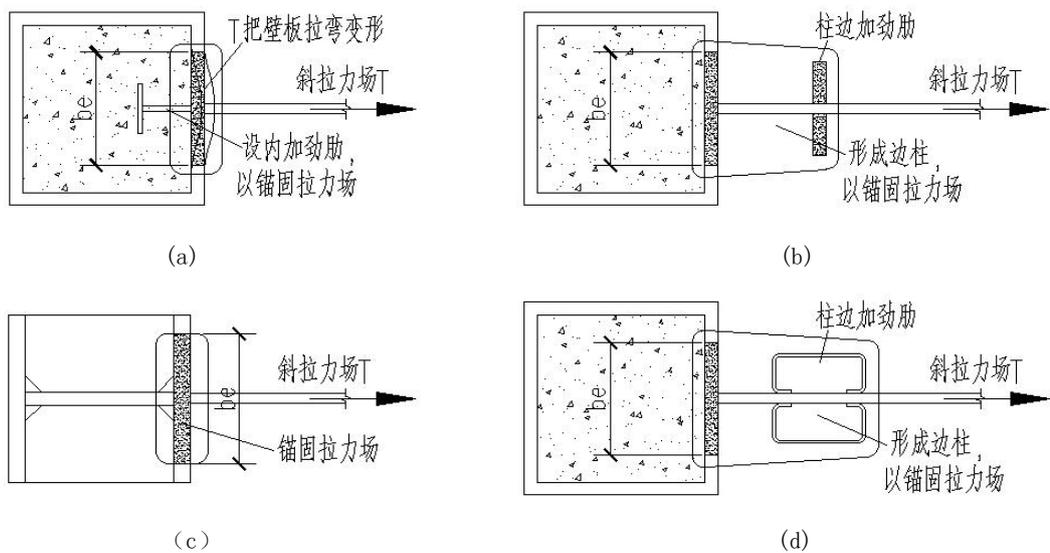


图 4.2.5 参与边缘加劲肋工作的有效截面

**4.2.6** 钢板墙的边缘构件的承载能力计算应符合下列规定：

**1** 按照完全拉力场的设计，框架横梁的强度计算中应考虑拉力场的附加轴压力作用，其值按式(4.2.6-1)计算：

$$N_p = \frac{1}{4} h_s (t_{PL} + t_{PU}) f = \frac{\sqrt{3}}{4} h_s (t_{PL} + t_{PU}) f_v \quad (4.2.6-1)$$

式中： $t_{PU}$  —— 横梁上方钢板墙厚度 (mm)；

$t_{PL}$  —— 横梁下方钢板墙厚度 (mm)。

**2** 横梁尚应考虑拉力场的均布竖向分力产生的弯矩和剪力，与竖向重力荷载产生的弯矩叠加。拉力场竖向分力产生的均布线荷载按下式计算：

$$q_{PV} = \frac{\sqrt{3}}{2} (t_{PL} - t_{PU}) f_v = 0.5 (t_{PL} - t_{PU}) f \quad (4.2.6-2)$$

对于顶层横梁  $t_{PU}$  为零。

**3** 钢板剪力墙的外框架边柱，应考虑钢板墙拉力场的水平均布分力产生的弯矩，与其余内力叠加。水平均布分力产生的线荷载按下式计算：

$$q_{PH} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta t_p f_v = 0.5 \Delta t_p f \quad (4.2.6-3)$$

式中： $\Delta t_p$  —— 框架柱两侧钢板墙厚度差值。

**4.2.7** 窄高的钢板剪力墙，当采用水平加劲肋分为上下两块时(图4.2.1c)，水平加劲肋的设计应符合下列规定：

**1** 水平加劲肋在钢板墙平面外的抗弯刚度应符合下式规定：

$$(I_{sx})_{th,ep} = \left( 1 + \frac{8.4\chi}{e^{6/\alpha_{sp}}} \right) f_v \frac{a_y t_p a_s^2}{\pi^2 E} \quad (4.2.7-1)$$

式中： $a_y$  —— 分块后钢板墙区格的净高 (mm)；

$\alpha_{sp}$  —— 分块后钢板墙的宽高比， $\alpha_{sp} = a_s/a_y$ ；

$\chi$  —— 钢板墙的嵌固系数，加劲肋为闭口截面时取  $\chi = 1$ ，加

劲肋为开口截面时取  $\chi = 3.2$ 。

2 水平加劲肋尚应能够承受拉力场产生的轴压力作用，轴压力的取值应符合下式规定：

$$N_{st} = \frac{1}{2} a_y t_p f \quad (4.2.7-2)$$

式中： $a_y$ ——上下两水平加劲肋之间或水平加劲肋与钢梁之间的竖向距离(mm)。

4.2.8 按照钢梁锚固拉力场设计的非加劲钢板墙应符合下列规定：

1 允许利用部分区域的拉力场强度，设计荷载下的墙体剪应力应符合下列公式规定：

$$\tau \leq \varphi_{tp} f_v \quad (4.2.8-1)$$

$$\varphi_{tp} = \left[ \varphi_{\tau 0} + \frac{1 - \varphi_{\tau 0}}{1.155 \sqrt{1 + h_s^2 / a_s^2}} \right] \leq 1.0 \quad (4.2.8-2)$$

式中： $\varphi_{tp}$ ——考虑部分屈曲后强度的墙体剪切强度折减系数；

$\varphi_{\tau 0}$ ——墙体弹性剪切屈曲稳定系数。

2 墙体剪切屈曲稳定系数的计算应符合下列公式规定：

$$\varphi_{\tau 0} = \frac{1}{\sqrt[3]{0.738 + \lambda_{\tau 0}^6}} \leq 1.0 \quad (4.2.8-3)$$

$$\lambda_{\tau 0} = \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3} \tau_{cr0,e}}} = \sqrt{\frac{f_{vk}}{\tau_{cr0,e}}} \quad (4.2.8-4)$$

$$\tau_{cr0,e} = \frac{k_{\tau 0} \pi^2 E t_p^2}{12(1 - \mu_s^2) a_s^2} \quad (4.2.8-5)$$

$$\frac{h_s}{a_s} \geq 1: k_{\tau 0} = \chi_{\tau} \left[ 5.34 + \frac{4}{(h_s / a_s)^2} \right] \quad (4.2.8-6)$$

$$\frac{h_s}{a_s} < 1: k_{\tau 0} = \chi_{\tau} \left[ 4 + \frac{5.34}{(h_s / a_s)^2} \right] \quad (4.2.8-7)$$

式中： $f_{vk}$ ——钢材的抗剪强度标准值 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\lambda_{\tau 0}$ ——剪切屈曲的正则化宽厚比；

$\chi_{\tau}$ ——剪切屈曲的嵌固系数，取 1.23；

$\mu_s$ ——钢材的泊松比。

**3** 按照钢梁锚固拉力场方法设计时，中间楼层横梁承受的钢板墙拉力场产生的附加轴向压力应符合下式规定：

$$N_{\text{bH}} = \frac{1}{4} \left[ (1 - \varphi_{\tau 0\text{L}}) \left( 1 - \frac{h_{\text{sU}} / a_s}{\sqrt{1 + h_{\text{sU}}^2 / a_s^2}} \right) t_{\text{PL}} + (1 - \varphi_{\tau 0\text{U}}) \left( 1 - \frac{h_{\text{sL}} / a_s}{\sqrt{1 + h_{\text{sL}}^2 / a_s^2}} \right) t_{\text{PU}} \right] h_s f \quad (4.2.8-8)$$

式中： $t_{\text{PU}}$ ——横梁上方钢板墙厚度；

$t_{\text{PL}}$ ——横梁下方钢板墙厚度；

$h_{\text{sU}}$ ——横梁上方钢板墙高度；

$h_{\text{sL}}$ ——横梁下方钢板墙高度。

**4** 横梁应考虑拉力场的均布竖向分力产生的弯矩，并与竖向荷载产生的弯矩叠加。拉力场的均布竖向分力应按下列式计算：

$$q_{\text{PV}} = (\varphi_{\tau\text{PL}} t_{\text{PL}} - \varphi_{\tau\text{PU}} t_{\text{PU}}) f_v \quad (4.2.8-9)$$

式中： $t_{\text{PU}}$ ——横梁上方钢板墙厚度(mm)；

$t_{\text{PL}}$ ——横梁下方钢板墙厚度(mm)；

$\varphi_{\tau\text{PL}}, \varphi_{\tau\text{PU}}$ ——下层和上层钢板墙剪切屈曲后强度的剪切强度折减系数，按本规程式(4.2.8-2)计算；

$\varphi_{\tau 0\text{L}}, \varphi_{\tau 0\text{U}}$ ——下层和上层钢板墙的剪切屈曲稳定系数，按本规程式(4.2.8-3)计算；

**4.2.9** 对于宽高比较大的钢板剪力墙，可设置少量竖向加劲肋，使钢板墙形成接近方形的区格(图4.2.1b)。竖向加劲肋的竖向强度、刚度应符合下列要求：

**1** 竖向加劲肋应进行轴压稳定承载能力计算，竖向加劲肋所受的轴压力应按下列式计算：

$$N_{\text{sA}} = (\varphi_{\tau\text{p}} - \varphi_{\tau 0}) a_s t_p f_v \quad (4.2.9-1)$$

**2** 竖向加劲肋的刚度应符合下列公式规定：

$$\gamma_x = \frac{EI_s}{Da_s} \geq 60 \quad (4.2.9-2)$$

$$D = \frac{Et_p^3}{12(1 - \mu_s^2)} \quad (4.2.9-3)$$

式中： $a_s$ ——竖向加劲肋之间的水平距离(mm)，在闭口截面加劲肋的情况下是区格净宽。

$I_s$ ——竖向加劲肋的平面外弯曲惯性矩 ( $\text{mm}^4$ )。

**4.2.10** 在钢板墙上开设门洞时应符合下列规定：

**1** 门洞边缘构件应单独建模，满足强度和稳定性验算要求。门洞上方钢梁按耗能连梁设计，耗能连梁的横向加劲肋的水平间距不应大于  $35\varepsilon_k t_{wb}$ ；

**2** 钢板墙的水平抗剪承载力按照独立的非加劲钢板墙设计，其值应大于与连梁段竖向抗剪承载力平衡的水平剪力的 1.2 倍，即：

$$\tau_c \geq 1.2 \frac{V_{cb}}{t_p h_s} \quad (4.2.10)$$

式中： $V_{cb}$ ——连梁段的抗剪承载能力 (N)；

$\tau_c$ ——钢板墙的弹性屈曲剪应力 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )， $\tau_c = \varphi_{tp} f_v$ ；

**4.2.11** 在钢板墙上开圆孔时应符合下列规定：

**1** 当开孔直径不大于  $a_s/16$ 、 $h_s/16$  和 150mm 中的较小值时，开孔位置可不采取加强措施；

**2** 当开孔直径不大于墙本身较短边长的 0.25 倍时，宜采用孔边套管加强，套管应能够承受拉力场的拉力，允许拉力场充分发展，套管壁板厚度应满足

$$b_t t_t \geq 3R_t t_p \quad (4.2.11)$$

式中： $b_t$ ——套管的宽度(mm)；

$t_t$ ——套管的厚度(mm)；

$R_t$ ——套管的半径，按中心线计算(mm)。

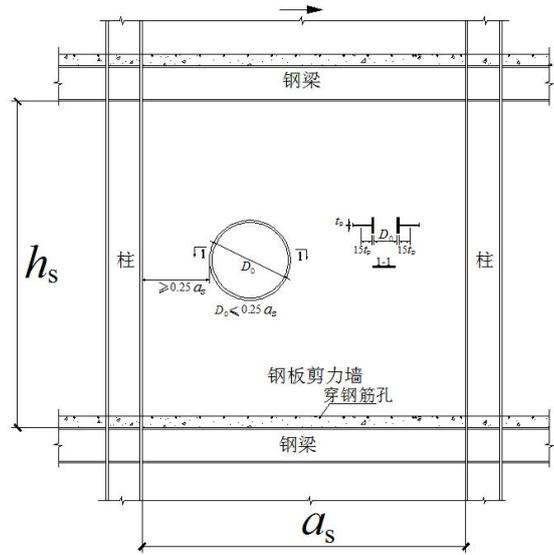


图 4.2.11 钢板墙的开孔构造

### 4.3 横放波形钢板墙的承载力计算

**4.3.1** 波形钢板剪力墙受剪稳定承载力 ( $V_u$ ) 不应小于剪力设计值 ( $V$ ), 并按下列公式进行计算:

$$V_u = 0.58 \varphi_{r,h} t_w b_s f \quad (4.3.1-1)$$

$$\varphi_{r,h} = \frac{1}{(1 + 0.8 \lambda_n^{3.2})^{0.625}} \quad (4.3.1-2)$$

$$\lambda_n = \sqrt{\frac{0.58 t_w b_s f_y}{V_{cr}}} \quad (4.3.1-4)$$

$$V_{cr} = k_{th} \frac{\pi^2 \sqrt[4]{D_x^3 D_y}}{b_s} \quad (4.3.1-5)$$

$$k_{th} = \frac{1}{\pi^2} [(7 + 20\theta) \beta^2 + 8\beta + 61.2 + 29.5\theta] \quad (4.3.1-6)$$

$$\theta = \frac{H_s}{\sqrt{D_x D_y}} \quad (4.3.1-7)$$

$$\beta = \frac{b_s}{H} \sqrt[4]{\frac{D_y}{D_x}} \quad (4.3.1-8)$$

$$D_x = \frac{E_s}{b_0} \left[ \frac{q_1 + q_3}{12} t_w^3 + \left( \frac{2}{3} \frac{q_2}{\cos \gamma_c} + q_1 - \frac{(q_2/\cos \gamma_c + q_1)^2}{s} \right) a^2 t_w \right] \quad (4.3.1-9)$$

$$D_y = \frac{b_0}{s} \cdot \frac{E_s t_w^3}{12(1-\mu_s^2)} \quad (4.3.1-10)$$

$$H_s = \frac{s}{b_0} \cdot \frac{E_s t_w^3}{12(1+\mu_s)} \quad (4.3.1-11)$$

$$b_0 = q_1 + 2q_2 + q_3 \quad (4.3.1-12)$$

$$s = q_1 + \frac{2q_2}{\cos \gamma_c} + q_3 \quad (4.3.1-13)$$

式中：  $V$  ——波形钢板墙剪力设计值 (N)；

$V_u$  ——波形钢板墙受剪稳定承载力 (N)；

$V_{cr}$  ——波形钢板墙受剪弹性屈曲荷载 (N)；

$f$  ——钢材的抗拉、抗压强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>)；

$f_y$  ——钢材的屈服强度 (N/mm<sup>2</sup>)；

$E_s$  ——钢材的弹性模量 (N/mm<sup>2</sup>)；

$t_w$  ——波形钢板墙厚度 (mm)；

$b_s$  ——波形钢板墙的宽度 (mm)；

$H$  ——波形钢板墙的高度 (mm)；

$D_x$ 、 $D_y$  ——非对称型波形钢板墙在强轴和弱轴方向上的弯曲刚度常数 (N.mm)；

$H_s$  ——波形钢板墙的扭转刚度常数 (N.mm)；

$a$  ——波形钢板墙的波幅 (mm)；

$H_s$  ——波形钢板墙的扭转刚度常数 (N.mm)；

- $q_1$ ——波形钢板波峰宽度 (mm);
- $q_2$ ——波形钢板过渡段的投影宽度 (mm);
- $q_3$ ——波形钢板波谷宽度 (mm);
- $\gamma_c$ ——波形钢板过渡段的倾角;
- $b_0$ ——波形钢板单个波的波长 (mm);
- $s$ ——波形钢板单个波的展开长度 (mm);
- $\varphi_s$ ——波形钢板墙的受剪稳定系数;
- $\lambda_n$ ——波形钢板墙的正则化宽高比;
- $\phi_m$ ——波形钢板墙受剪稳定系数中间变量;
- $k_b$ ——波形钢板墙受剪弹性屈曲系数;
- $\theta$ ——波形钢板墙的刚度常数比;
- $\beta$ ——波形钢板墙的等效宽高比。

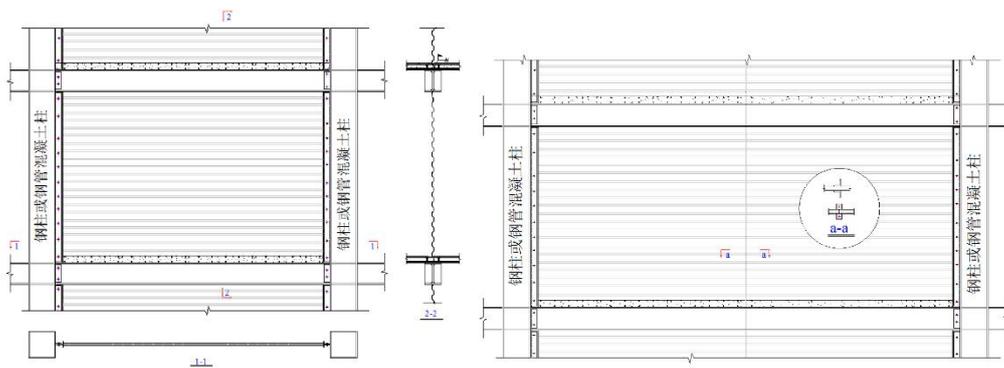


图 4.3.1 横放波形钢板墙示意图

4.3.2 设置一道竖向加劲肋的横放波形钢板墙，其受剪承载力计算应符合下列规定：

1 肋板刚度比应符合下式规定：

$$\mu_0 = \frac{EI_s}{D_y b_s} \geq \mu_{0,p} \quad (4.3.2-1)$$

2 弹塑性门槛刚度比  $\mu_{0,p}$  应按下列式计算:

$$\mu_{0,p} = 2(577 - 3750\theta)\beta_{sp} + 820\theta - 131 \quad (4.3.2-2)$$

式中:  $I_s$ ——竖向加劲肋平面外的惯性矩 ( $\text{mm}^4$ );

$\mu_{0,p}$ ——弹塑性门槛刚度比;

$\beta_{sp}$ ——子板的等效宽高比;

$b_s$ ——子板的宽度 ( $\text{mm}$ )。

3 当肋板刚度比大于弹塑性门槛刚度 ( $\mu_0 > \mu_{0,p}$ ) 时, 单块子板的抗剪屈曲稳定系数应采用本规程式(4.3.1-2)计算, 墙体总抗剪承载力应按各子板的抗剪承载力相加所得。

**4.3.3** 设置两道竖向加劲肋的横放波形钢板墙, 其受剪承载力计算应符合下列规定:

1 肋板刚度比应符合下列式规定:

$$\mu_0 = \frac{EI_s}{D_y b_s} \geq \mu_{0,p2} \quad (4.3.3-1)$$

2 弹塑性门槛刚度比  $\mu_{0,p2}$  应按下列式计算:

$$\mu_{0,p2} = 3(695 - 4410\theta)\beta_{sp} + 860\theta - 149 \quad (4.3.3-2)$$

式中:  $\mu_{0,p2}$ ——两道加劲波形钢板墙弹塑性门槛刚度比;

$\beta_{sp}$ ——子板的等效宽高比;

3 当肋板刚度比大于弹塑性门槛刚度 ( $\mu_0 > \mu_{0,p}$ ) 时, 单块子板的抗剪屈曲稳定系数应采用本规程式(4.3.1-2)计算, 墙体总抗剪承载力应按各子板的抗剪承载力相加所得。

**4.3.4** 当横放波形钢板墙不与两侧柱子连接时应符合下列规定:

1 钢梁的抗剪强度应符合式(4.3.4-1)的规定, 当计算不满足式(4.3.4-1)的要求时, 宜增设界面抗剪连接件;

$$V_b \geq 1.2\varphi_{sp} h_s t_w f_{vy} \quad (4.3.4-1)$$

2 波形钢板墙应设置边缘构件, 该边缘构件的平面外刚度应符合式(4.3.4-2)的规定, 且边缘构件的厚度不应小于波形钢板厚度

的 2.5 倍。

$$\frac{EI_s}{\sqrt[4]{D_x^3 D_y} \cdot b_s} \geq 100 \quad (4.3.4-2)$$

3 边缘构件的竖向承载力应按下列公式计算：

$$V_y = \varphi_{sp} h_s t_w f_{vy} \quad (4.3.4-3)$$

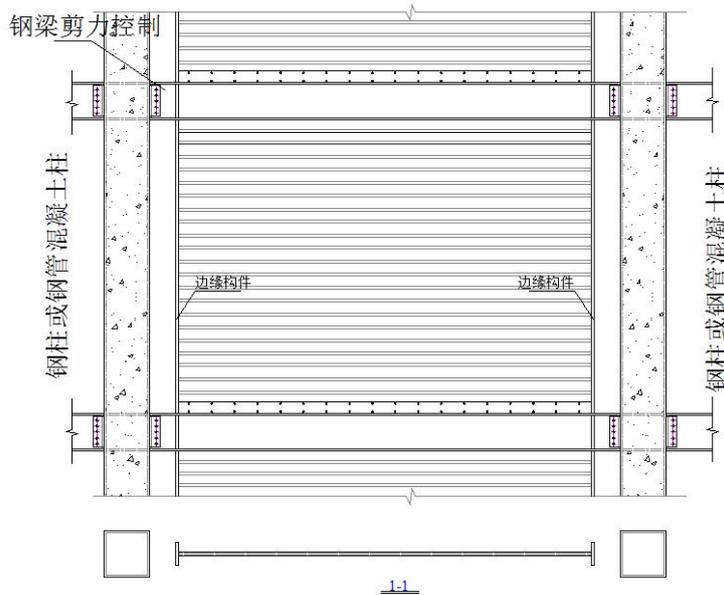


图 4.3.4 横放波形钢板墙的边缘构件设置

#### 4.4 竖放波形钢板墙的承载力计算

4.4.1 竖放波形钢板墙的剪切屈曲稳定系数应按本规程第 4.3.1 条进行计算。在计算剪切屈曲稳定系数时，应将墙体的高度和宽度进行互换，且墙体的抗剪承载力应按下列公式计算：

$$V_u = 0.58 \varphi_{sv} \omega_s b_s t_w f \quad (4.4.1)$$

4.4.2 轴压力单独作用时，竖放波形钢板墙的轴压承载力应按下列公式计算：

$$N_u = \varphi_\sigma \omega_s b_s t_w f \quad (4.4.2-1)$$

$$\varphi_\sigma = \frac{1}{1 + 0.56 \lambda_{ns}^{2.2}} \quad (4.4.2-2)$$

$$\lambda_{ns} = \sqrt{N_y / N_{cr}} \quad (4.4.2-3)$$

$$N_{cr} = k_{\sigma} \cdot \frac{4\pi^2 D_x}{H^2} \omega_s b_s \quad (4.4.2-4)$$

$$N_y = \omega_s b_s t_w f_y \quad (4.4.2-5)$$

$$k_{\sigma} = 1 + \frac{1}{2} \theta \beta^2 + \frac{3}{16} \beta^4 \quad (4.4.2-6)$$

式中： $N$ ——压剪组合作用下的剪力墙轴压力设计值（N），同时承受弯矩时，取边缘处的竖向应力计算的轴力；

$V$ ——压剪组合作用下的剪力墙剪力设计值（N）；

$N_u$ ——轴压力单独作用下的剪力墙轴压力设计值（N）；

$V_u$ ——剪力单独作用下的剪力墙设计值（N）；

$\rho_N$ ——压剪曲线轴力项目计算系数；

$\omega_s$ ——波形钢板展开系数，展开长度与波长的比值。

$\varphi_s$ ——轴压力单独作用下波形钢板墙的稳定系数；

$\lambda_{ns}$ ——轴压力单独作用下波形钢板墙正则化高厚比；

$\alpha_N$ ——鱼尾板连接时的轴压承载力折减系数；

$k_s$ ——正则化高厚比修正系数；

$N_{cr}$ ——轴压力单独作用下波形钢板墙临界压力（N）；

$N_y$ ——轴压力单独作用下波形钢板墙屈服强度承载力（N）；

$k_c$ ——轴压力作用下波形钢板墙屈曲系数。

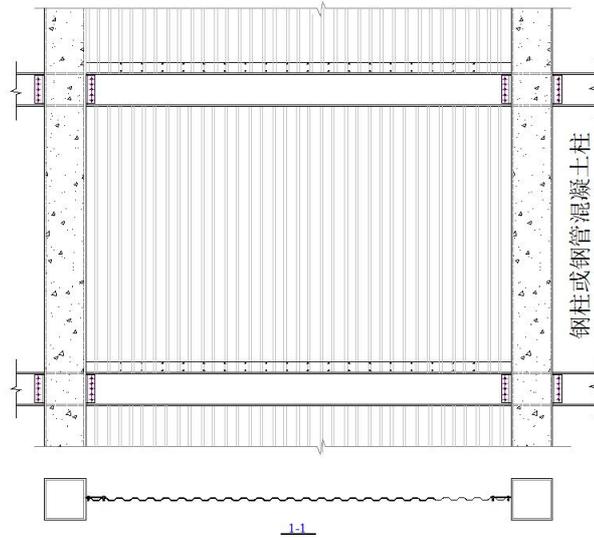


图 4.4.1 竖放波形钢板墙示意图

4.4.3 压弯剪组合作用下的竖放波形钢板墙承载力应按下列公式计算：

$$\left(\frac{N}{N_u}\right)^{\rho_N} + \left(\frac{V}{V_u}\right)^2 \leq 1 \quad (4.4.3-1)$$

$$\rho_N = \frac{2 + 5.4\lambda_{sc}^{7.5}}{1 + 6\lambda_{sc}^{7.5}} \quad (4.4.3-2)$$

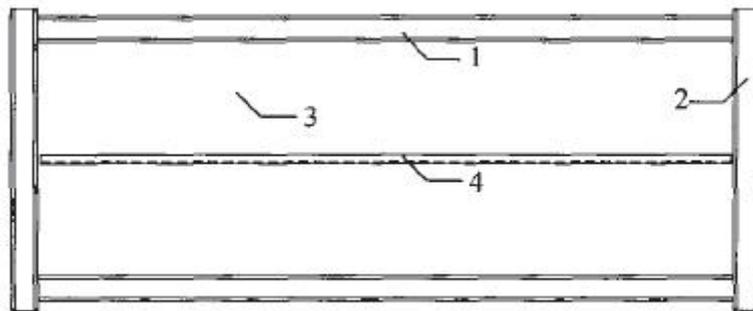
$$\lambda_{sc} = \frac{H}{2\pi} \sqrt{\frac{f_y \omega_s t_w}{D_x}} \quad (4.4.3-3)$$

式中： $N$ ——在轴力和弯矩作用下墙体边缘最大单位板宽上的轴力（N）。

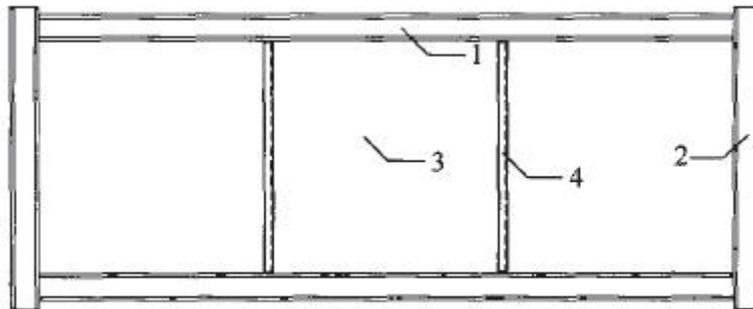
## 5 加劲钢板墙

### 5.1 一般规定

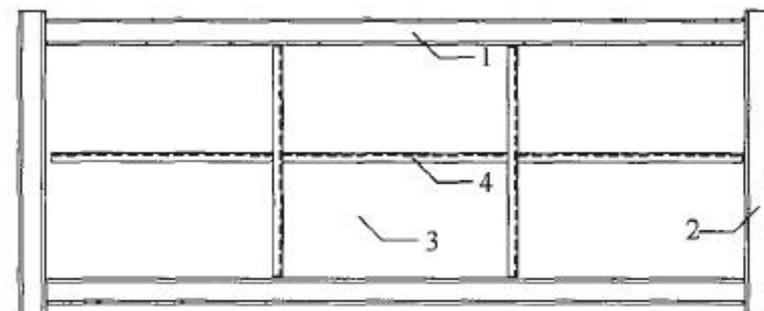
5.1.1 加劲钢板墙的加劲肋布置方式（图 5.1.1）可采用仅设水平加劲肋，仅设竖向加劲肋，或同时设水平和竖向加劲肋等形式。



(a) 加劲肋水平布置



(b) 加劲肋竖向布置



(c) 加劲肋水平与竖向混合布置

1 框架梁； 2 框架柱； 3 钢板； 4 一加劲肋

图 5.1.1 加劲肋布置示意图

**5.1.2** 加劲钢板墙的竖向加劲肋宜两面设置或两面交替设置。

**5.1.3** 当设置横向加劲肋时，横向加劲肋宜单面、两面或两面交替设置，也可采用横向加劲肋贯通、钢板墙水平切断等形式。

**5.1.4** 加劲肋宜采用单钢板、开口或闭口截面形式的热轧型钢或冷弯薄壁型钢等加劲构件。

**5.1.5** 同时设置横向和竖向加劲肋的钢板墙，纵横加劲肋划分的墙板区格高宽比宜接近 1，墙板区格的宽厚比宜符合下列规定：宜采用单钢板、开口或闭口截面形式的热轧型钢或冷弯薄壁型钢等加劲构件。

采用开口加劲肋时：

$$\frac{a_s + h_s}{t_p} \leq 220\epsilon_k \quad (5.1.5-1)$$

采用闭口加劲肋时：

$$\frac{a_s + h_s}{t_p} \leq 250\epsilon_k \quad (5.1.5-2)$$

式中： $a_s$ ——墙板区格宽度（mm）；  
 $h_s$ ——墙板区格高度（mm）。

## 5.2 承载力计算

**5.2.1** 按本节规定设计的加劲钢板墙可承受竖向荷载。当按不承受竖向荷载进行设计时，加劲钢板墙的承载力计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

**5.2.2** 仅设置竖向加劲肋的钢板剪力墙的设计应符合下列规定：

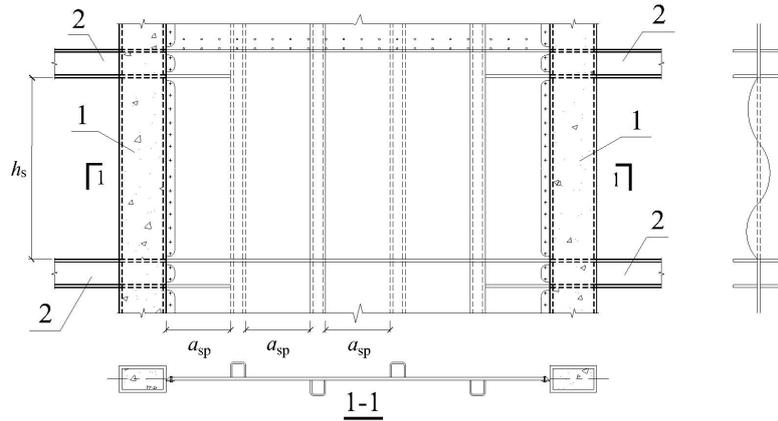


图 5.2.2-1 仅设置竖向加劲肋的钢板墙示意图

1—钢管混凝土柱；2—钢梁

1 按本条设计的加劲钢板剪力墙，不利用钢板剪力墙的剪切屈曲后强度；钢板墙宜在构造上使加劲肋上下层连续，跨楼层部位可仅设水平加劲肋支承楼板。当相邻跨钢梁塑性弯矩大于柱的塑性弯矩时，宜在钢梁下翼缘对应位置设长度不小于梁高的水平加劲肋（图 5.2.2-1），尺寸同相邻跨钢梁下翼缘。竖向加劲钢板剪力墙承受的轴压力，不应大于加劲钢板墙竖向承载力的 0.7 倍。

2 仅设置竖向加劲肋的钢板剪力墙，抗剪强度应符合下列规定：

1) 竖向加劲肋的门槛刚度计算应符合下列公式规定：

$$I_{sy,\tau th} = \frac{V_{y\tau}}{\pi^2 E} (\varphi_{sp,\tau} - \varphi_{0,\tau}) a_{sp} t_p h_s^2 f_v \quad (5.2.2-1)$$

$$\varphi_{sp,\tau} = \frac{1}{\sqrt[3]{1 - 0.8^6 + \lambda_{sp,\tau}^6}} \quad (5.2.2-2)$$

$$\lambda_{sp,\tau} = \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3} \tau_{sp,e}}} \quad (5.2.2-3)$$

$$\tau_{sp,e} = k_{\tau,sp} \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu_s^2)} \frac{t_p^2}{a_{sp}^2} \quad (5.2.2-4)$$

式中： $k_{\tau,sp}$ ——小区格板块剪切屈曲系数，按照四边简支计算时：

$$k_{\tau,sp} = \begin{cases} 5.34 + 4\alpha_{sp}^2 & \alpha_{sp} \leq 1 \\ 4 + 5.34\alpha_{sp}^2 & \alpha_{sp} > 1 \end{cases} \quad (5.2.2-5)$$

$$\alpha_{sp} = \frac{a_{sp}}{h_s} \quad (5.2.2-6)$$

$$\psi_{y\tau} = \begin{cases} 1 + 4.5e^{-6(\alpha_{sp}-0.3)^2} & \text{(开口截面加劲肋)} \\ 1 + 1.4e^{-6(\alpha_{sp}-0.3)^2} & \text{(闭口截面加劲肋)} \end{cases} \quad (5.2.2-7)$$

式中： $I_{sy,\tau th}$ ——门槛刚度参数 (mm<sup>4</sup>)；

$a_{sp}$ ——加劲区格的水平宽度 (mm)；

$\alpha_{sp}$ ——区格宽高比；

$\varphi_{0,\tau}$ ——按照本规程式(7.2.4-2)计算。

2) 钢板墙的剪应力应符合下列公式规定：

$$\tau \leq \begin{cases} \varphi_{sp,\tau} f_v & (I'_{sy} \geq I_{sy,\tau th}) \\ \left[ \varphi_{0,\tau} + (\varphi_{sp,\tau} - \varphi_{0,\tau}) \left( \frac{I'_{sy}}{I_{sy,\tau th}} \right)^{0.6} \right] f_v & (I'_{sy} < I_{sy,\tau th}) \end{cases} \quad (5.2.2-8)$$

式中： $I'_{sy}$ ——扣除加劲肋上承受的轴压力的影响后的竖向加劲肋的有效惯性矩 (mm<sup>4</sup>)，按本条第 6 款规定执行；

3 仅设置竖向加劲肋的钢板剪力墙，竖向受压承载力计算应符合下列规定：

1) 加劲肋与钢板墙区格的有效宽度部分可视为整体进行压杆承载力计算，稳定系数根据表 5.2.2 和现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定取值。

表 5.2.2 加劲肋受压柱子曲线

加劲肋布置形式	闭口加劲肋	开口加劲肋
单侧加劲肋	曲线 c	曲线 d
双侧加劲肋	曲线 b	曲线 c

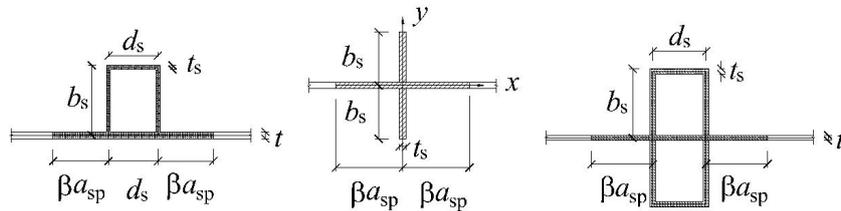


图 5.2.2-2 加劲肋-墙板有效截面的组合压杆截面示意图

2) 钢板墙区格参与加劲肋工作的单侧有效宽度(图 5.2.2-2)应符合下列公式规定：

$$\beta = \frac{1}{2(0.327 + \lambda_{sp,\sigma})} \leq 0.5 \quad (5.2.2-9)$$

$$\lambda_{sp,\sigma} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{sp,e}}} \quad (5.2.2-10)$$

$$\sigma_{sp,e} = \frac{k_{\sigma,sp} \pi^2 E}{12(1 - \mu_s^2)} \left( \frac{t_p}{a_{sp}} \right)^2 \quad (5.2.2-11)$$

$$k_{\sigma,sp} = \begin{cases} 4\chi_{st} & \alpha_{sp} \geq \delta \\ \left( \frac{1}{\alpha_{sp}} + \alpha_{sp} \right)^2 \chi_{st} & \alpha_{sp} \leq \delta \end{cases} \quad (5.2.2-12)$$

$$\chi_{st} = 1 + \frac{0.75\eta_{st}^{1.05} + 0.67\eta_{st}^{2.1}}{(1.16 + \eta_{st}^{1.05})^2} \quad (5.2.2-13)$$

$$\eta_{st} = \frac{GJ_s}{Da_{sp}} \quad (5.2.2-14)$$

$$\delta = \frac{2}{3} + \frac{1}{3} e^{-\frac{0.438\eta_{st}^2}{1+0.283\eta_{st}^{1.8}}} \quad (5.2.2-15)$$

式中：  $J_s$ ——竖向加劲肋的自由扭转常数；

$\chi_{st}$ ——计入竖向加劲肋扭转约束刚度影响的屈曲应力提高系数。

3) 按照组合压杆的承载力计算加劲钢板墙的平均抗压稳定系数应符合下式规定：

$$\chi_c = \frac{(2\beta a_{sp} t_p + A_s)}{(a_{sp} t_p + A_s)} \varphi_{st} \quad (5.2.2-16)$$

式中：  $A_s$ ——单根加劲肋的面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$\varphi_{st}$ ——按加劲肋—钢板墙有效宽度组合压杆计算的稳定系数。

4) 加劲板的弹性屈曲应力应按下列公式计算：

$$\sigma_{g,cr} = \sigma_{0,e} + (\sigma_{sp,e} - \sigma_{0,e}) \frac{I_{sy}}{I_{sy,sth}} \quad (5.2.2-17)$$

$$I_{sy,sth} = \frac{\psi_{\sigma y}}{12(1 - \mu_s^2)} \left[ \left( 1 + \frac{n_v A_s}{a_s t_p} \right) k_{\sigma,sp} - \frac{k_{\sigma 0}}{(1 + n_v)^2} \right] \frac{h_s^2}{a_{sp}} t_p^3 \quad (5.2.2-18)$$

$$\psi_{\sigma y} = 1.34 + 0.30 \tanh(2.89\alpha_{sp} - 1.73) \quad (5.2.2-19)$$

式中：  $I_{sy}$ ——竖向加劲肋(含钢板有效截面)的惯性矩 ( $\text{mm}^4$ )；

$I_{sy,sth}$ ——门槛刚度参数 ( $\text{mm}^4$ )；

$n_v$ ——竖向加劲肋的道数；

$\nu$  ——钢材泊松比。

5) 按照正交异性板件计算屈曲后的强度应符合下列公式规定:

$$\rho_g = \frac{1}{0.327 + \lambda_{g,\sigma}} \leq 1.0 \quad (5.2.2-20)$$

$$\lambda_{g,\sigma} = \sqrt{\frac{(2\beta a_{sp} t_p + A_s) f_y}{(a_{sp} t_p + A_s) \sigma_{g,cr}}} \quad (5.2.2-21)$$

$$\rho_{c,v} = \chi_c + (\rho_g - \chi_c) \sqrt{\sqrt{(\xi - 1)(1 + \gamma_{sy}) + (1 + 0.5\eta_{st})^2} - (1 + 0.5\eta_{st})} \quad (5.2.2-22)$$

$$\xi = \frac{\sigma_{g,cr}}{\sigma_{cr,c}}, \quad 1 \leq \xi \leq 1 + \frac{\eta_{st} + 3}{\gamma_{sy}} \quad (5.2.2-23)$$

$$\gamma_{sy} = \frac{EI_{sy}}{Da_{sp}} \quad (5.2.2-24)$$

式中:  $\rho_{c,v}$  ——加劲钢板墙受压稳定系数;

$\sigma_{cr,c}$  ——加劲肋加上两侧一半的区格宽度组成的压杆(图

5.2.2-2)的弹性屈曲临界应力 (N), 按照毛截面计算;

$I_{sy}$  ——加劲肋和钢板墙组合截面绕组合截面形心的惯性矩 ( $\text{mm}^4$ )。

6) 内力分析模型输出的钢板墙竖向平均应力 ( $\sigma$ ) 应符合下式规定:

$$\sigma \leq \rho_{c,v} f \quad (5.2.2-25)$$

4 仅设置竖向加劲肋的钢板墙弹塑性压弯承载力计算应符合下列规定:

1) 钢板墙不均匀受压时, 加劲肋的竖向承载稳定系数的计算原则应包括: 加劲肋与相邻区格板块分摊到此加劲肋的有效宽度组成压杆截面, 按组合压杆截面计算弹性欧拉临界应力, 根据应力分布规律对弹性欧拉临界应力进行放大, 并按本条第 3 款的规定计算压杆稳定系数。

2) 加劲肋的竖向承载稳定系数应符合下列公式规定:

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\sigma_1}{\sigma_{st1}} \sigma_{E,st} \quad (5.2.2-26)$$

$$\lambda_{n,st} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad (5.2.2-27)$$

$$\chi_{cl} = \frac{[(\beta_1 a_{sp1} + \beta_2 a_{sp2})t_p + A_s]}{[0.5(a_{sp1} + a_{sp2})t_p + A_s]} \varphi_{st} \quad (5.2.2-28)$$

式中：  $\sigma_1$ ——钢板墙受力较大边缘的应力 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\sigma_{st1}$ ——第一道加劲肋处的竖向应力 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\sigma_{E,st}$ ——加劲肋与有效截面形成的组合截面的欧拉临界应力 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\lambda_{n,st}$ ——加劲肋与钢板墙有效截面组成的压杆的正则化长细比；

$\beta_1$ ——受力较大板块一侧，在加劲肋一侧分配到的有效宽度系数，按国家标准《钢结构设计标准》GB 50017-2017 第 8.4.2 条计算；

$\beta_2$ ——受力较小板块一侧，在加劲肋一侧分配到的有效宽度系数，按国家标准《钢结构设计标准》GB 50017-2017 第 8.4.2 条计算；

$a_{sp1}$ ——受力较大侧区格的宽度 (mm)；

$a_{sp2}$ ——受力较小侧区格的宽度 (mm)。

3) 按照正交异性板件计算压弯受力时的屈曲后稳定系数应符合下列公式规定：

$$\rho_g = \frac{1}{0.327 - 0.1\alpha_0 + \lambda_{g,b}} \leq 1.0 \quad (5.2.2-29)$$

$$\lambda_{g,b} = \sqrt{\frac{[(\beta_1 a_{sp1} + \beta_2 a_{sp2})t_p + A_s]f_y}{[0.5(a_{sp1} + a_{sp2})t_p + A_s]\sigma'_{g,cr}}} \quad (5.2.2-30)$$

$$\sigma'_{g,cr} = (1 + 0.5\alpha_0 + 0.5\alpha_0^3)\sigma_{g,cr} \quad (5.2.2-31)$$

$$I_{sy,bth} = \frac{I_{sy,oth}}{\sqrt{1 + 0.5\alpha_0 + 0.5\alpha_0^3}} \quad (5.2.2-32)$$

$$\alpha_0 = 1 - \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (5.2.2-33)$$

$$\sigma_{b0} = \frac{K_{bcs}\pi^2 D}{a_s^2 t_p} \quad (5.2.2-34)$$

$$K_{\text{bcs}} = \begin{cases} \frac{16}{\sqrt{(2-\alpha_0)^2 + 0.112\alpha_0^2 + 2 - \alpha_0}} & \frac{h_s}{a_s} \geq \delta_{\text{bc}} \\ \left( (1 + 0.5\alpha_0 + 0.08\alpha_0^3) \frac{a_s^2}{h_s^2} + 2 + 2.9\alpha_0^2 + (1 + 0.3\alpha_0^5) \frac{h_s^2}{a_s^2} \right) & \frac{h_s}{a_s} < \delta_{\text{bc}} \end{cases} \quad (5.2.2-35)$$

$$\delta_{\text{bc}} = \frac{1}{[1 + (0.574\alpha_0)^6]^{1/3}} \quad (5.2.2-36)$$

$$\sigma_{\text{sp,b}} = \frac{k_{\text{b,sp}} \pi^2 D}{a_{\text{sp1}}^2 t_p} \quad (5.2.2-37)$$

$$k_{\text{b,sp}} = 4(1 + 0.5\alpha_1 + 0.5\alpha_1^2) \chi_{\text{st}} \quad (5.2.2-38)$$

$$\alpha_1 = 1 - \frac{\sigma_{\text{st1}}}{\sigma_1} \quad (5.2.2-39)$$

式中： $\sigma_2$ ——钢板墙受力较小侧的应力 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\sigma_{\text{g,cr}}$ ——按照轴压计算的临界应力 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\sigma'_{\text{g,cr}}$ ——钢板墙按压弯计算的以较大边缘压应力计算的临界应力 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\sigma_{\text{sp,b}}$ ——小区格弹性局部屈曲临界应力；

$\sigma_{\text{b0}}$ ——未加劲钢板墙弹性屈曲应力。

4) 竖向加劲板压弯稳定系数计算应符合下列公式规定：

$$\rho_{\text{c,v1}} = \chi_{\text{cl}} + (\rho_{\text{g}} - \chi_{\text{cl}}) \sqrt{\sqrt{(\xi' - 1)(1 + \gamma_{\text{sy}}) + (1 + 0.5\eta_{\text{st}})^2} - (1 + 0.5\eta_{\text{st}})} \leq 1.0 \quad (5.2.2-40)$$

$$\xi' = \frac{\sigma'_{\text{g,cr}}}{\sigma_{\text{cr,c}}}, \quad 1 \leq \xi' \leq 1 + \frac{\eta_{\text{st}} + 3}{\gamma_{\text{sy}}} \quad (5.2.2-41)$$

5) 钢板墙的压弯承载力验算应符合下式规定：

$$\sigma_1 \leq \rho_{\text{c,v1}} f \quad (5.2.2-42)$$

5 仅设置竖向加劲肋的钢板剪力墙，在受剪、受压和受弯组合内力作用下，加劲肋惯性矩和面积（含钢板墙的有效面积，见图 5.2.2-2）应符合下式规定：

$$A_s \geq \frac{\psi_{\text{y}\tau} (\varphi_{\text{sp},\tau} - \varphi_{0,\tau}) a_{\text{sp}} t_p f_v}{\chi_{\text{st}} f - \sigma_{\text{st,e}}} \quad (5.2.2-43)$$

式中： $\varphi_{0,\tau}$ ——按照本规程式(4.3.8-3)计算；

$\varphi_{\text{sp},\tau}$ ——小区格的弹塑性剪切屈曲稳定系数；

$\sigma_{\text{st,e}}$ ——加劲肋有效截面上的应力 (N/mm<sup>2</sup>)。

6 小区格在组合内力作用下的弹塑性稳定承载力应符合下列

公式规定：

$$\left(\frac{\tau}{\varphi_{sp,\tau}f_v}\right)^2 + \frac{\sigma}{\rho_{sp,\sigma}f} + \left(\frac{\sigma_b}{\rho_{sp,b}f}\right)^2 \leq 1.0 \quad (5.2.2-44)$$

$$\rho_{sp,\sigma} = \frac{1}{0.327 + \lambda_{\sigma,sp}} \leq 1.0 \quad (5.2.2-45)$$

$$\lambda_{\sigma,sp} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{sp,e}}} \quad (5.2.2-46)$$

$$\rho_{sp,b} = \frac{1}{0.127 + \lambda_{b,sp}} \leq 1.0 \quad (5.2.2-47)$$

$$\lambda_{b,sp} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{sp,be}}} \quad (5.2.2-48)$$

$$I'_{sy} = \chi_{st} \lambda_{n,st}^2 I_{sy} - \frac{\sigma_{st,e} A_s h_s^2}{\pi^2 E} \quad (5.2.2-49)$$

$$\sigma_{sp,be} = \frac{k_{b,sp} \pi^2 E}{12(1-\mu_s^2)} \cdot \frac{t_p^2}{a_{sp}^2} \quad (5.2.2-50)$$

$$k_{b,sp} = \begin{cases} 23.9\chi_{st} & \alpha_{sp} \leq 1.5\delta \\ \chi_{st} \left( \frac{11}{\alpha_{sp}^2} + 14 + 2.2\alpha_{sp}^2 \right) & \alpha_{sp} > 1.5\delta \end{cases} \quad (5.2.2-51)$$

式中： $\rho_{sp,\sigma}$ ——小区格钢板墙轴压稳定系数；

$\rho_{sp,b}$ ——小区格钢板墙弯曲屈曲稳定系数；

$\sigma_{sp,e}$ ——小区格的轴压屈曲应力 (N/mm<sup>2</sup>)，由式(5.2.2-11)计算；

$\sigma_{sp,be}$ ——小区格的弯曲屈曲应力 (N/mm<sup>2</sup>)；

$\sigma, \sigma_b, \tau$ ——小区格的轴压，弯曲和剪切应力 (N/mm<sup>2</sup>)。

**5.2.3** 仅设置横向加劲肋的钢板剪力墙的设计应符合下列规定：

**1** 仅设置横向加劲肋的钢板剪力墙(图 5.2.3)，在竖向轴压和压弯状态下，水平加劲肋的门槛刚度应符合下列公式规定：

$$I_{sx} \geq I_{sx,sth} = \psi_{x\sigma,p} \frac{2.4}{\pi^4 E a_y} t_p a_s^4 \rho_{c,h} f_y \left( 1 + \cos \frac{\pi}{n_h + 1} \right) \quad (5.2.3-1)$$

$$\rho_{c,h} = (\rho_h - \varphi_c) \sqrt{\sqrt{\xi_{sp}} - 1} + \varphi_c \quad (5.2.3-2)$$

$$\xi_{sp} = \frac{\sigma_{h,e}}{\sigma_{cr,c}}, \quad 1.0 \leq \xi_{sp} \leq 4.0 \quad (5.2.3-3)$$

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 E t_p^2}{12(1-\mu_s^2)(\phi a_y)^2} \quad (5.2.3-4)$$

$$\sigma_{h,e} = \left( \frac{\alpha_h}{\phi} + \frac{\phi^{0.7}}{\alpha_h} \right)^2 \frac{\pi^2 E t_p^2}{12(1-\mu_s^2) a_s^2} \quad (5.2.3-5)$$

$$\phi = \sqrt{\frac{(2\alpha_h + 0.411\pi^2 \eta_{sx1})(2\alpha_h + 0.411\pi^2 \eta_{sx2})}{(2\alpha_h + 0.822\pi^2 \eta_{sx1})(2\alpha_h + 0.822\pi^2 \eta_{sx2})}} \quad (5.2.3-6)$$

$$\rho_{sp} = \frac{1}{0.327 + \lambda_{\sigma,sp}} \quad (5.2.3-7)$$

$$\varphi_c = \frac{1}{(1 + \lambda_c^{2.724})^{0.734}} \quad (5.2.3-8)$$

$$\lambda_{\sigma,sp} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{h,e}}} \quad (5.2.3-9)$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad (5.2.3-10)$$

$$a_y = \frac{h_s}{n_h + 1} \quad (5.2.3-11)$$

$$\psi_{x\sigma,p} = \tanh(0.25\alpha_{sp}^{1.8}) \quad (5.2.3-12)$$

$$\eta_{sx} = \frac{GJ_{sx}}{Da_s} \quad (5.2.3-13)$$

$$\alpha_h = \frac{a_s}{a_y} \quad (5.2.3-14)$$

式中： $a_y$ ——水平加劲肋的间距；

$n_h$ ——水平加劲肋的道数；

$\alpha_h$ ——小区格的宽高比；

$J_{sx}, I_{sx}$ ——分别是水平加劲肋的自由扭转常数和惯性矩( $\text{mm}^4$ )；

$\eta_{sx1}, \eta_{sx2}$ ——区格的上侧和下侧水平加劲肋的刚度参数。

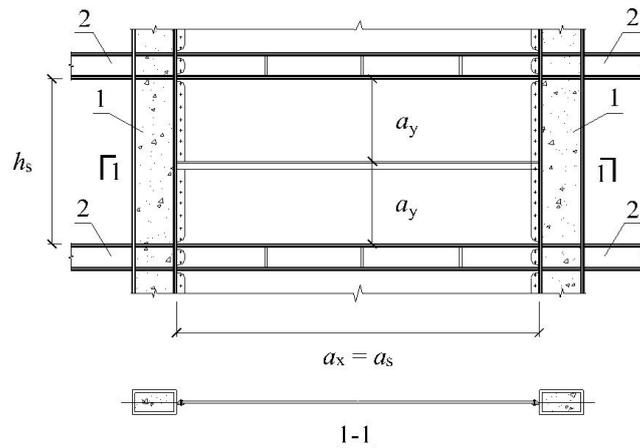


图 5.2.3 仅设置横向加劲肋的钢板剪力墙示意图

1—钢管混凝土柱；2—钢梁

2 设置横向加劲肋的钢板剪力墙受剪时，水平加劲肋的门槛刚度应符合下列公式规定：

$$I_{sx,\tau th} = \psi_{x\tau} (\varphi_{sp,\tau} - \varphi_{0,\tau}) \frac{a_y t_p a_s^2 f_y}{\sqrt{3} \pi^2 E} \quad (5.2.3-15)$$

$$\psi_{x\tau} = \begin{cases} 1 + 4.5e^{-6(\frac{1}{\alpha_h} - 0.3)^2} & \text{(开口截面加劲肋)} \\ 1 + 1.4e^{-6(\frac{1}{\alpha_h} - 0.3)^2} & \text{(闭口截面加劲肋)} \end{cases} \quad (5.2.3-16)$$

$$\varphi_{sp,\tau} = \frac{1}{\sqrt[3]{1 - 0.8^6 + \lambda_{\tau,sp}^6}} \leq 1.0 \quad (5.2.3-17)$$

$$\lambda_{\tau,sp} = \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3} \tau_{sp,e}}} \quad (5.2.3-18)$$

$$\tau_{sp,e} = k_{\tau,sp} \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu_s^2)} \frac{t_p^2}{a_s^2} \quad (5.2.3-19)$$

$$\alpha_h = \frac{a_s}{a_y} \leq 1: k_{\tau,sp} = 5.34 + 4\alpha_h^2 \quad (5.2.3-20)$$

$$\alpha_h = \frac{a_s}{a_y} > 1: k_{\tau,sp} = 4 + 5.34\alpha_h^2 \quad (5.2.3-21)$$

式中： $\varphi_{0,\tau}$ ——按本规程第 4.3.8 条规定计算，计算公式中取  $\chi_r = 1.0$ 。

3 仅设置横向加劲肋的钢板剪力墙的抗剪稳定验算应符合下式规定：

$$\tau \leq \varphi_{sp,\tau} f_v \quad (5.2.3-22)$$

4 仅设置横向加劲肋的钢板剪力墙，在剪力和压力共同作用下，水平加劲肋的门槛刚度应符合下列规定：

1) 当  $\tau \leq \varphi_{0,\tau} f_v$  时，水平加劲肋的门槛刚度应符合下式规定：

$$I_{sx} \geq I_{sx,\sigma th} \quad (5.2.3-23)$$

2) 当  $\tau > \varphi_{0,\tau} f_v$  时，水平加劲肋的门槛刚度应符合下列公式规定：

$$I_{sx} \geq \max \left\{ I_{sx,\sigma th}, I_{sx,\tau th}, \frac{7\sigma_1 + 5\sigma_2}{12\rho_{e,h} f} I_{sx,\sigma th} + \left( \frac{\tau / f_v - \varphi_{0,\tau}}{\varphi_{sp,\tau} - \varphi_{0,\tau}} \right)^{5/3} I_{sx,\tau th} \right\} \quad (5.2.3-24)$$

$$\sigma_1 > \sigma_2 \quad (5.2.3-25)$$

式中： $\sigma_1, \sigma_2$ ——两侧的竖向应力(N/mm<sup>2</sup>)。

5 组合内力作用下，小区格钢板墙的弹塑性稳定承载力应按

本规程式(5.2.2-44)计算。

**5.2.4** 同时设置水平和竖向加劲肋的钢板剪力墙的设计应符合下列规定：

**1** 加劲钢板墙应划分为一级板块、二级板块和整层板块（图 5.2.4）。

**2** 竖向加劲肋应按本规程第 5.2.2 条的规定进行设计，层高应按式(5.2.4)取值；二级板块在竖向轴压、弯矩和剪应力作用下，应符合本规程第 5.2.2 条的规定。

$$a_y = \frac{h_s}{n_h + 1} \quad (5.2.4-1)$$

**3** 水平加劲肋应能够为被加劲的钢板墙提供刚性的侧向支承。

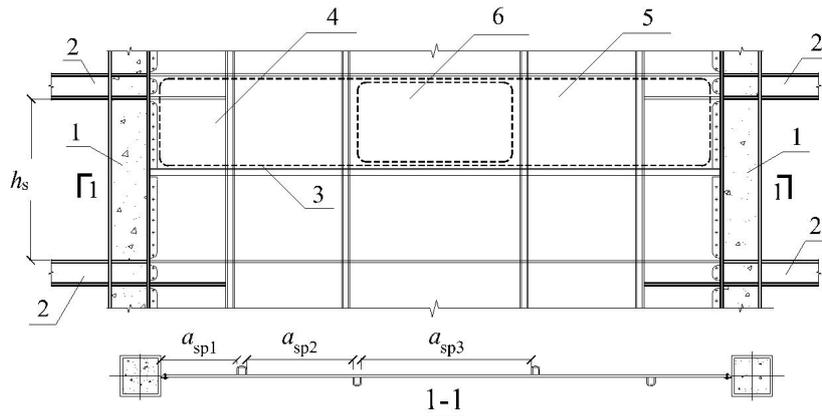


图 5.2.4 同时设置横向和竖向加劲肋的钢板墙示意图

1—钢管混凝土柱；2—钢梁；3—一级板块；4—二级板块，抗压抗弯为主；5—二级板块，抗压抗弯抗剪；6—二级板块，抗剪为主

**4** 水平加劲肋的竖向轴压门槛刚度应符合下列公式规定：

$$I_{sx,\sigma th} = \psi_{x\sigma,p} \frac{2.4N_{csu}}{\pi^4 E} \frac{a_s^3}{a_y} \left( 1 + \cos \frac{\pi}{n_h + 1} \right) \quad (5.2.4-2)$$

$$N_{csu} = \rho_{c,v} \sum (2\beta_i a_{spi} t_p + A_{yi}) f \quad (5.2.4-3)$$

$$\psi_{x\sigma,p} = \tanh(0.25\alpha'_{sh}) \quad (5.2.4-4)$$

$$\alpha'_{sp} = \frac{a_s}{a_y} \sqrt[4]{\frac{D}{D_y}} \quad (5.2.4-5)$$

式中： $N_{csu}$ ——钢板剪力墙一级板块的竖向轴压承载力 (N)；

$\alpha'_{sp}$ ——竖向加劲钢板墙的修正高宽比；

$D_y$ ——单位宽度竖向加劲钢板墙的抗弯刚度 (N·mm)，含加劲肋均摊的部分；单侧加劲肋上，取钢板墙的有效截面部分与加劲肋形成的截面计算；

$\beta_i$  ——钢板剪力墙二级板块参与一级板块加劲肋的有效宽度系数，按本规程第 5.2.2 条计算；

$a_{spi}$ ——钢板剪力墙二级板块的宽度 (mm)；

$A_{yi}$ ——竖向加劲肋的面积 (mm<sup>2</sup>)；

$\rho_{c,v}$  ——一级板块按本规程式(5.2.2-22)计算的钢板墙受压弹塑性稳定系数。

5 剪切屈曲对应的水平加劲肋门槛刚度应按下式计算：

$$I_{sx,\tau th} = \psi_{x\tau} (\varphi_{sp,\tau}^{\text{II}} - \varphi_{0,\tau}) \frac{a_y t_p a_s^2}{\pi^2 E} f_v \quad (5.2.4-6)$$

式中： $\varphi_{0,\tau}$  ——未加劲墙板的弹塑性剪切屈曲稳定系数，按整个墙板进行计算；

$\varphi_{sp,\tau}^{\text{II}}$  ——二级板块  $a_x \times a_y$  的弹塑性剪切屈曲稳定系数；

$\psi_{x\tau}$  ——修正系数，按本规程式(5.2.3-16)计算，其中  $\alpha_{sp}$  采用一级板块的修正高宽比式(5.2.4-5)。

6 同时承受竖向和剪切应力时，水平加劲肋的门槛刚度应符合下列规定：

1) 当  $\tau \leq \varphi_{0,\tau} f_v$  时，水平加劲肋的门槛刚度应符合下式规定：

$$I_{sx} \geq I_{sx,\sigma th} \quad (5.2.4-7)$$

2) 当  $\tau > \varphi_{0,\tau} f_v$  时，水平加劲肋的门槛刚度应符合下式规定：

$$I_{sx} \geq \max \left\{ I_{sx,\sigma th}, I_{sx,\tau th}, \frac{7\sigma_1 + 5\sigma_2}{12\rho_{c,v} f} I_{sx,\sigma th} + \left( \frac{\tau / f_v - \varphi_{0,\tau}}{\varphi_{sp,\tau}^{\text{II}} - \varphi_{0,\tau}} \right)^{5/3} I_{sx,\tau th} \right\} \quad (5.2.4-8)$$

## 6 防屈曲钢板墙

### 6.1 一般规定

6.1.1 防屈曲钢板墙的构造形式应符合下列规定：

1 墙宽不大于 3m 时，可仅设置水平加劲肋（图 6.1.1(a)~图 6.1.1(c)），并应在各区格处填充混凝土板；

2 墙宽大于 3m 时，应在墙宽度方向中部设置 1 道或 2 道竖向加劲肋，同时设置水平加劲肋（图 6.1.1(d)~图 6.1.1(i)），竖向加劲肋应两面对称设置，并在各区格内填充混凝土板；

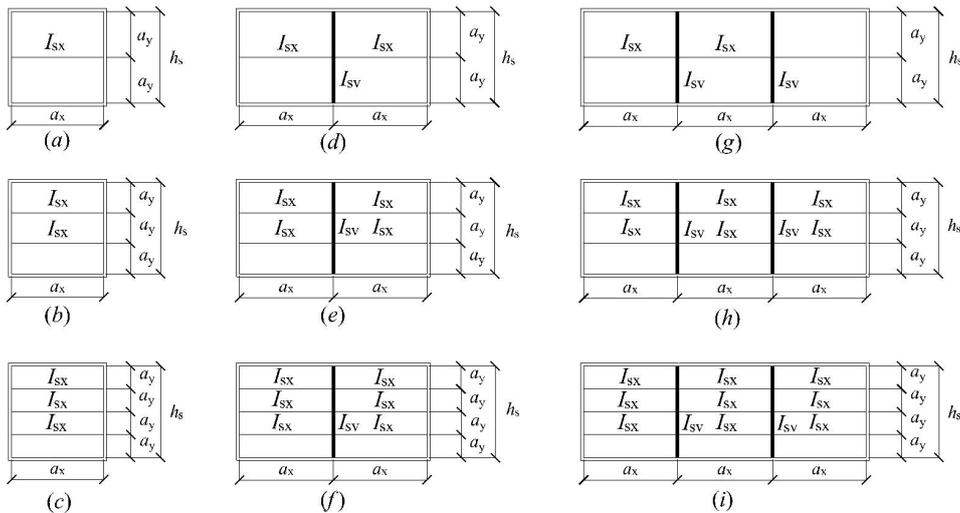


图 6.1.1 防屈曲钢板墙的加劲肋布置示意图

6.1.2 竖向加劲肋下部伸入楼板不应小于 50mm，且竖向加劲肋离开支承楼板的水平加劲肋距离应大于或等于 40mm。

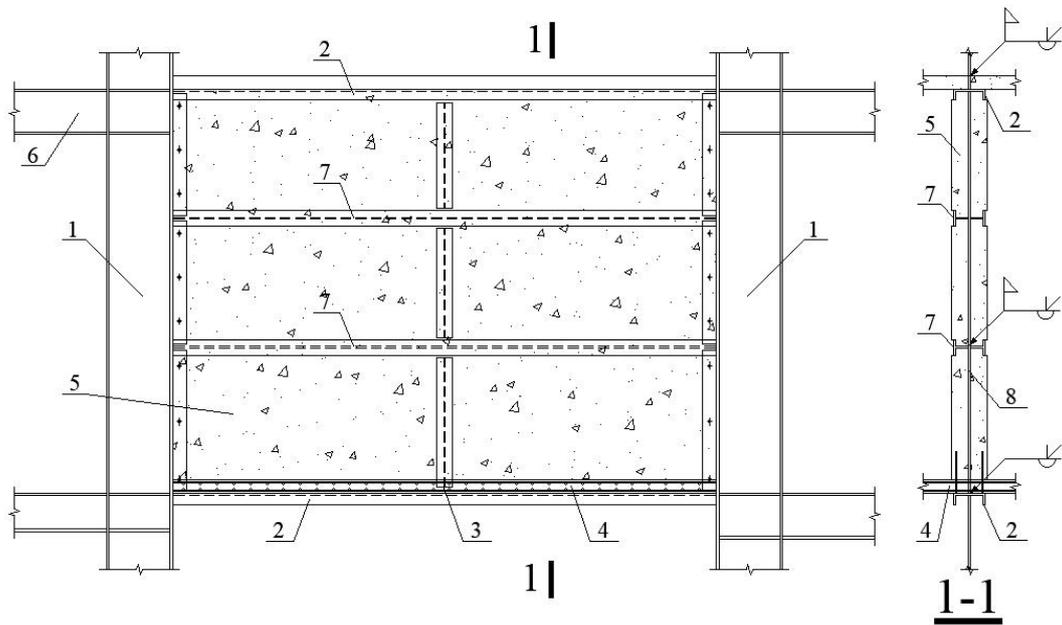


图 6.1.2 防屈曲钢板墙构造示意图

1-钢柱或钢管混凝土柱; 2-贯通水平加劲肋; 3-竖肋下部留缝;

4-底部与楼板结合形成整体; 5-混凝土板; 6-钢梁; 7-断开的水平加劲肋; 8-钢板墙

**6.1.3** 区格内填充的混凝土板与墙体之间应采用无粘结材料进行隔离。

**6.1.4** 混凝土板的配筋可采用双向布置的形式，配筋率均不宜小于 0.6%，间距不宜大于 200mm。

## 6.2 承载力计算

**6.2.1** 水平加劲肋的平面外抗弯刚度应符合下式规定：

$$I_{sx, \sigma th} = \frac{3 \tanh(0.25 \alpha_{sp}^{1.8})}{\pi^4 E_s a_y} t_p a_x^4 f_y \quad (6.2.1)$$

式中： $a_y$ ——上下水平加劲肋的间距 (mm)；

$a_x$ ——钢板剪力墙的净宽度，当设置竖向加劲肋时，取区格净宽度 (mm)；

$n$ ——水平加劲肋的数量。

**6.2.2** 当设置竖向加劲肋时，竖向加劲肋的平面外抗弯刚度应符

合下式规定：

$$EI_{sv} = \frac{2a_x t_p f_y h_s^2}{\pi^2} \quad (6.2.2)$$

式中：  $a_x$  ——设置竖向加劲肋时区格的宽度 (mm)。

**6.2.3** 对于小区格内填充的混凝土板，一个小区格内的总配筋量应符合下式规定：

$$A_s \geq \frac{3.2a_x}{h_{c0}^2} \left( \frac{2t_p f_y a_y^2}{\pi^2 E} - \frac{t_p^3}{500} \right) - \frac{7E_c}{120E} a_x h_{c0} \quad (6.2.3)$$

式中：  $E_c$  ——混凝土弹性模量 (N/mm<sup>2</sup>)；

$h_{c0}$  ——混凝土板有效厚度 (mm)；

$a_y$  ——水平加劲肋的竖向间距 (mm)；

$A_s$  ——混凝土板外侧的配筋面积(mm<sup>2</sup>)。

**6.2.4** 水平加劲肋和竖向加劲肋应分别进行抗弯承载力验算，弯矩设计值应符合下列公式规定：

$$M_{sx} = \frac{f_y t_p a_x^2}{530\sqrt{1+n}} \quad (6.2.4-1)$$

$$M_{sv} = \frac{t_p f_y}{350} a_x h_s \quad (6.2.4-2)$$

式中：  $M_{sx}$  ——水平加劲肋的弯矩设计值 (N·mm)；

$M_{sv}$  ——竖向加劲肋的弯矩设计值 (N·mm)。

**6.2.5** 小区格处填充的混凝土板抗弯承载力应符合下列公式规定：

$$M \leq M_u \quad (6.2.5-1)$$

$$M = \frac{N_{cmax} N_{cm} a_y}{500(N_{cm} - N_{cmax})} \quad (6.2.5-2)$$

$$N_{cmax} = 2a_x t_p f_y \quad (6.2.5-3)$$

$$N_{cm} = \frac{\pi^2 a_x}{a_y^2} \left[ 0.002 E t_p^3 + \frac{1}{12} h_{c0}^3 (0.22 E_c + 3.75 E \frac{A_s}{a_x h_0}) \right] \quad (6.2.5-4)$$

$$M_u = f_s A_s (h_c - 2a'_s) \quad (6.2.5-5)$$

$$h_{c0} = h_c - a'_s \quad (6.2.5-6)$$

式中： $M$ ——混凝土板的弯矩设计值(N·mm)；

$M_u$ ——混凝土板的抗弯承载力(N·mm)；

$f_s$ ——钢筋抗拉强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)；

$a'_s$ ——混凝土板的外侧钢筋合力作用点到板外侧边缘的距离  
(mm)；

$h_c$ ——混凝土板的厚度(mm)。

**6.2.6** 在剪应力 ( $\tau$ )、压应力 ( $\sigma_G$ ) 和弯曲应力 ( $\sigma_b$ ) 共同作用下，防屈曲钢板剪力墙或区格的承载力应符合下式规定：

$$\sqrt{(\sigma_b + \sigma_G)^2 + 3\tau^2} \leq f \quad (6.2.6)$$

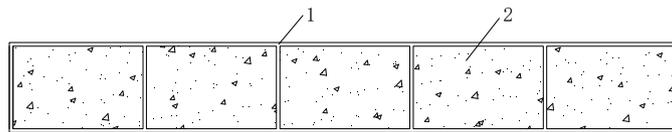
式中： $f$ ——钢板剪力墙的钢材抗拉强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)；

## 7 钢板组合墙

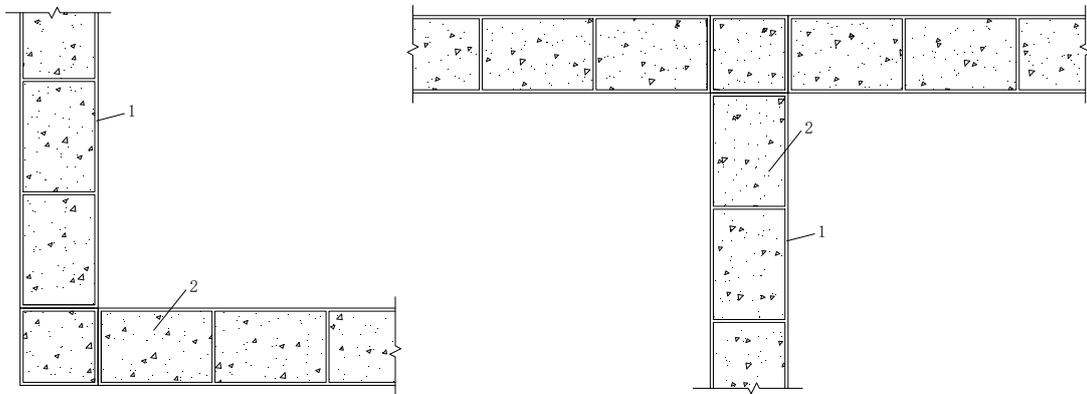
### 7.1 一般规定

**7.1.1** 钢板组合墙可采用封闭多腔钢管混凝土组合墙和点状拉结双钢板组合墙两种形式。

**7.1.2** 封闭多腔钢管混凝土组合墙由多腔钢管墙及其腔内浇筑混凝土组成（图 7.1.2）。多腔钢管墙可由矩形钢管、U 型钢或窄翼缘槽钢等冷弯薄壁型钢组件组合拼装焊接形成。多个一字形封闭多腔钢管混凝土组合墙构件组合形成 L 形、T 形构件。



(a) 一字形



(b) L、T 形

1—多腔钢管墙；2—腔体内混凝土

图 7.1.2 封闭多腔钢管混凝土组合墙

**7.1.3** 封闭多腔钢管混凝土组合墙中单个空腔截面长边尺寸不小于 800mm 时，宜在腔内壁上焊接栓钉以加强与混凝土的共同作用。栓钉不宜少于 2 列，间距不宜大于 400mm。

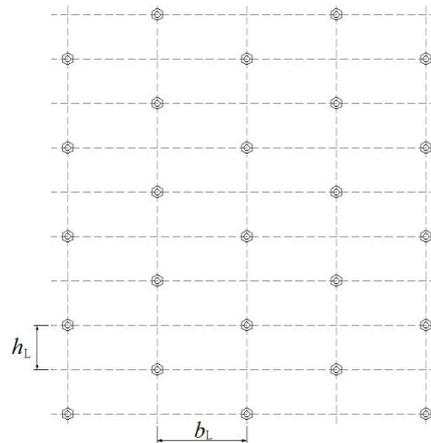
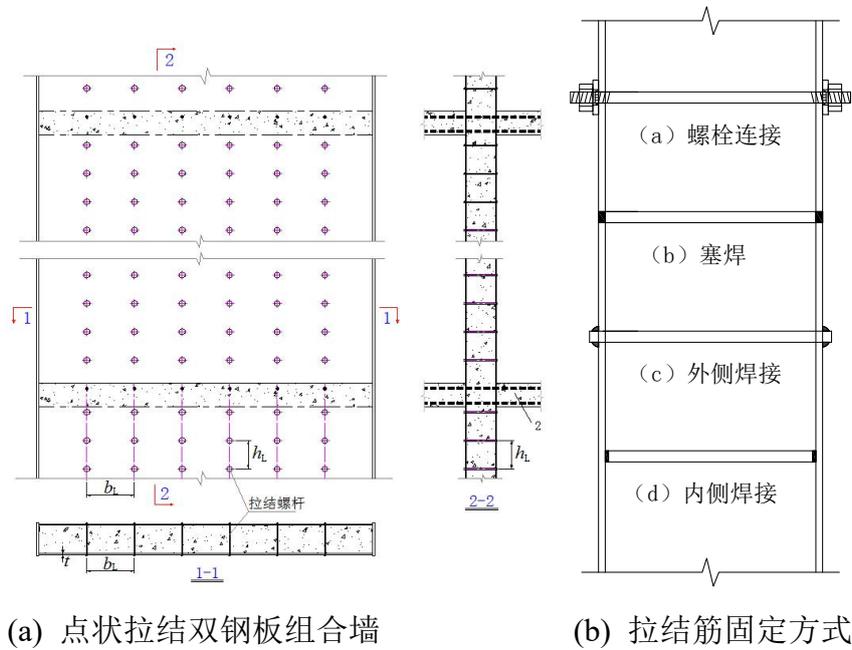
**7.1.4** 点状拉结双钢板组合墙的拉结筋设置应符合下列规定：

1 拉结筋的排列可以采用矩形或菱形排列；拉结筋列间距应小于等于  $60\varepsilon_k t$ ，拉结筋的行间距在矩形阵列时应小于等于  $20\varepsilon_k t$ ，菱形阵列时应小于等于  $15\varepsilon_k t$ ；

2 拉结筋与钢板的固定可采用螺栓连接、塞焊、外侧焊接、内侧焊接的方式，连接应与拉结筋等强。

3 每根拉结筋应能够承受其分担面积内的混凝土对面板的水平挤压力不小于  $1.5\text{MPa}$ ；

4 当拉结筋的设置满足本条 1~3 款的规定时，点状拉结双钢板组合墙的承载力计算可按本规程第 7.2 节的规定执行。



(c) 菱形点状拉结布置

图 7.1.4 点状拉结双钢板混组合墙

**7.1.5** 钢板组合墙各肢中，墙肢长度与厚度之比的最大值应大于4.5。

**7.1.6** 钢板组合墙墙肢的厚度不宜小于130mm，且不宜小于层高或无支长度的1/40。一字形钢板组合墙的厚度不宜小于层高或无支长度的1/30。

**7.1.7** L形、T形、H形钢板组合墙的强度和稳定性，可根据每片一字形墙肢的内力和支承条件分别验算。

## 7.2 一字形钢板组合墙的强度计算

**7.2.1** 轴心受压时的一字形钢板组合墙截面强度应符合下列公式规定：

$$N \leq N_u / \gamma \quad (7.2.1-1)$$

$$N_u = f A_s + f_c A_c \quad (7.2.1-2)$$

式中： $\gamma$ ——系数，无地震作用组合时， $\gamma = \gamma_0$ ；有地震作用组合时， $\gamma = \gamma_{RE}$ ；

$N$ ——轴心压力设计值（N）；

$N_u$ ——轴心受压时截面受压承载力设计值（N）；

$f$ ——钢板抗压强度设计值（N/mm<sup>2</sup>），计算钢板开孔削弱处截面的强度时，应取 $f = 0.7f_u$ ， $f_u$ 为钢材抗拉强度最小值；

$f_c$ ——组合墙混凝土的抗压强度设计值（N/mm<sup>2</sup>）；

$A_s$ ——组合墙钢板的截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$A_c$ ——组合墙混凝土的截面面积（mm<sup>2</sup>）。

**7.2.2** 只有弯矩作用时的一字形钢板组合墙平面内受弯承载力设计值 $M_{ux}$ 应按下列公式计算：

$$M_{ux} = [t'_s(h - 2t_s)(h - 2t_s - d_{nx}) + bt_s(h - t_s)]f \quad (7.2.2-1)$$

$$d_{nx} = (A_s - 2bt_s) / [(b - 2t'_s)f_c / f + 4t_s] \quad (7.2.2-2)$$

$$t'_s = t_s + \frac{A_f}{2h} \quad (7.2.2-3)$$

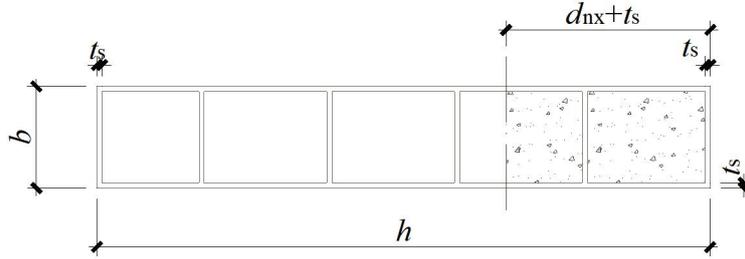


图 7.2.2 端部未加强时组合墙计算截面和图示

式中： $M_{ux}$ ——只有弯矩作用时墙肢的平面内受弯承载力设计值（ $N \cdot mm$ ），计算钢板开孔削弱截面的强度时，应取净截面计算，其余情况应取毛截面计算；

$b$ 、 $h$ ——分别为墙肢的厚度和宽度（ $mm$ ）；

$t_s$ ——组合墙外包钢板厚度（ $mm$ ）；

$t'_s$ ——组合墙外包钢板等效厚度（ $mm$ ）；对封闭多腔钢管混凝土组合墙按式(7.2.2-3)计算，对点状拉结双钢板组合墙  $t'_s = t_s$

$d_{nx}$ ——墙肢截面受压区高度（ $mm$ ）；

$A_f$ ——封闭多腔钢管混凝土组合墙的内部钢板总面积（ $mm^2$ ）。

**7.2.3** 弯矩作用在一字形钢板组合墙平面内的压弯构件，其强度应符合下列公式规定：

$$\frac{1}{1 - \alpha_{ck}} \left( \frac{\gamma N}{N_u} \right)^2 - \frac{\alpha_{ck}}{1 - \alpha_{ck}} \frac{\gamma N}{N_u} + \frac{\gamma M_x}{M_{ux}} \leq 1 \quad (7.2.3-1)$$

$$\alpha_{ck} = f_{ck} A_c / (f_y A_s + f_{ck} A_c) \quad (7.2.3-2)$$

式中： $M_x$ ——墙肢平面内的弯矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；

$\alpha_{ck}$ ——混凝土工作承担系数；

$f_y$ ——钢材的屈服强度（ $N/mm^2$ ）；

$f_{ck}$ ——混凝土的抗压强度标准值（ $N/mm^2$ ）。

**7.2.4** 一字形钢板组合墙的拉弯承载力应符合下式规定：

$$\frac{N_t}{fA_{sn}} + \frac{M_x}{M_{ux}} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (7.2.4)$$

式中：  $N_t$ ——轴心拉力设计值（N）；

$A_{sn}$ ——墙肢中的钢板净截面面积（ $\text{mm}^2$ ）。

**7.2.5** 封闭多腔钢管混凝土组合墙的剪力设计值应满足下式要求：

$$\gamma V \leq 0.6 f_v A_{nw} \quad (7.2.5)$$

式中：  $V$ ——墙肢剪力设计值（N）；

$A_{nw}$ ——构件与剪力方向平行的钢板净截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$f_v$ ——钢板抗剪强度设计值（ $\text{N}/\text{mm}^2$ ）。

### 7.3 钢板组合墙的稳定计算

**7.3.1** 弯矩作用在一字形钢板组合墙平面内的压弯构件，其平面内稳定性应符合下列公式规定：

$$\frac{1}{1-\alpha_{ck}} \left( \frac{\gamma N}{\varphi_x N_u} \right)^{1+\xi} - \frac{\alpha_{ck}}{1-\alpha_{ck}} \frac{\gamma N}{\varphi_x N_u} + \left( 1 + \frac{6\gamma^2 N^2}{N_{Ex} N_u} \right) \frac{\gamma M_x}{M_{ux}} \leq 1 \quad (7.3.1-1)$$

$$\xi = e^{-a} \quad (7.3.1-2)$$

$$a = \left( \frac{1.88\lambda_x}{1+0.42\alpha_{ck}} \right)^{1+\frac{1}{1+\lambda_x^3}} \quad (7.3.1-3)$$

$$N_{Ex} = N_u \frac{\pi^2 E_s}{\lambda_x^2 f} \quad (7.3.1-4)$$

式中：  $N_{Ex}$ ——欧拉临界力(N)；

$\varphi_x$ ——弯矩作用平面内的轴心受压稳定系数，按本规程第 7.3.3 条的规定计算；

$\lambda_x$ ——弯矩作用平面内的长细比，按本规程式(7.3.4-1)计算。

**7.3.2** 弯矩作用在一字形钢板组合墙平面内的压弯构件，其平面外稳定性应符合下列公式规定：：

$$\frac{N}{\varphi_y N_u} \leq \alpha_c : \frac{\alpha_c^{0.7\lambda_{ny}^2}}{(1-\alpha_c)} \frac{\gamma N}{\varphi_y N_u} \left( \frac{\gamma N}{\varphi_y N_u} - \alpha_c \right) + \frac{\gamma M_x}{M_{ux}} \leq 1 \quad (7.3.2-1)$$

$$\frac{\gamma N}{\varphi_y N_u} > \alpha_c : \frac{1}{(1-\alpha_c)} \left( \frac{\gamma N}{\varphi_y N_u} \right) \left( \frac{\gamma N}{\varphi_y N_u} - \alpha_c \right) + \left( \frac{\gamma M_x}{M_{ux}} \right)^{1+\lambda_{ny}} \leq 1 \quad (7.3.2-2)$$

式中： $\varphi_y$ ——弯矩作用平面外的轴心受压稳定系数，按本规程第

7.3.3 条的规定计算；

$\lambda_{ny}$ ——弯矩作用平面外的长细比，按本规程式（7.3.4-1）计算；

**7.3.3** 一字形钢板组合墙轴心受压构件的稳定系数应按下列公式计算：

$$\varphi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_0^2}} \leq 1.0 \quad (7.3.3-1)$$

$$\Phi = 0.5(0.965 + 0.300\lambda_0 + \lambda_0^2) \quad (7.3.3-2)$$

式中： $\varphi$ ——构件对所计算方向的稳定系数；

$\lambda_0$ ——构件对所计算方向的正则化长细比，按本规程第 7.3.4 条的规定计算。

**7.3.4** 轴心受压构件的正则化长细比应按下列公式计算：

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{N_{uk}}{N_E}} \quad (7.3.4-1)$$

$$N_{uk} = A_c f_{ck} + A_s f_y \quad (7.3.4-2)$$

$$N_E = \frac{\pi^2 (E_s I_s + E_c I_c)}{l_0^2} \quad (7.3.4-3)$$

式中： $N_{uk}$ ——轴心受压承载力标准值（N）；

$l_0$ ——构件对所计算方向的计算长度 (mm)，为该方向上支承点之间的距离；

$N_E$ ——轴心受压屈曲荷载 (N)。

**7.3.5** 三边、四边支承的钢板组合墙墙肢弯矩作用平面内的压弯稳定性可按本规程第 7.3.1 条进行验算。当墙肢的正则化宽厚比 $\lambda_p$ 大于表 7.3.5 的限值时，应按本规程第 7.3.8 条的规定验算墙肢弯矩作用平面外的稳定性。

表 7.3.5 三边、四边支承墙肢正则化宽厚比 $\lambda_p$ 限值

抗震等级		
一、二级	三级	四级
0.4	0.45	0.5

注：1 三边支承墙肢指 L 形、T 形、工字形、[ 形、Z 形截面的翼缘墙肢以及 T 形截面的腹板墙肢。四边支承墙肢指 [ 形、工字形、Z 形截面的腹板墙肢；

2  $\lambda_p$  按本规程第 7.3.6 条的规定计算。

**7.3.6** 封闭多腔钢管混凝土组合墙的墙肢正则化宽厚比 $\lambda_p$ 应按下式计算：

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{N_{uk}}{hN_{cr}}} \quad (7.3.6)$$

式中： $N_{uk}$ ——轴心受压承载力标准值 (N)；

$N_{cr}$ ——墙肢单位宽度上的临界压力 (N)，按本规程第 7.3.7 条的规定计算；

$b$ ——墙肢厚度 (mm)；

$h$ ——墙肢的长度 (mm)，对翼缘墙肢为  $b_{f1}$  或  $b_{f2}$ ，对腹板墙肢为  $b_w$  (图 7.3.6)。

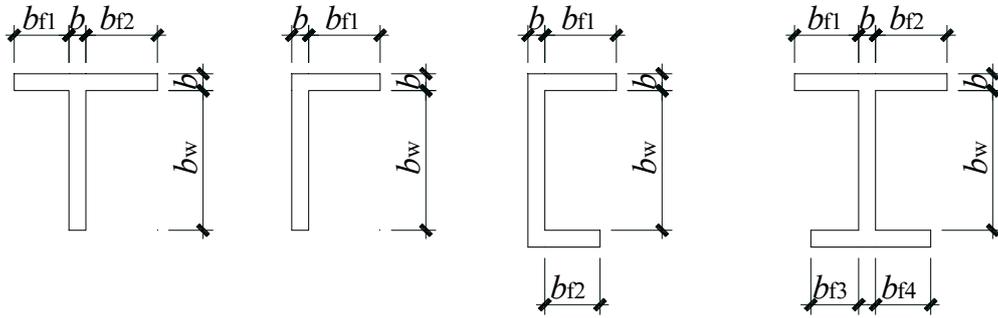


图 7.3.6 封闭多腔钢管混凝土组合墙腹板墙肢和翼缘墙肢的厚度、长度示意

7.3.7 三边支承和四边支承墙肢单位墙宽临界压力应按下列公式计算：

1 三边支承墙肢：

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D_x}{h^2} \left( \frac{h^2}{H^2} + \frac{12 D_{xy}}{\pi^2 D_x} \right) \quad (7.3.7-1)$$

2 四边支承墙肢：

$$N_{cr} = \frac{\pi^2}{h^2} \left[ D_x \frac{h^2}{H^2} + 2(D_c + D_{sm}) + D_y \frac{H^2}{h^2} \right] \quad (7.3.7-2)$$

式中

$$D_x = \frac{E_s t_s b^2}{12} + D_{sm} + D_c \quad (7.3.7-3)$$

$$D_{xy} = \frac{1}{2}(1 - \mu_c) D_c + \frac{1}{2}(1 - \mu_s) D_{sm} \quad (7.3.7-4)$$

$$D_y = D_c + D_{sm} \quad (7.3.7-5)$$

$$D_c = \frac{E_c (b - 2t_s)^3}{12(1 - \mu_c^2)} \quad (7.3.7-6)$$

$$D_{sm} = \frac{E_s t_s (b - t_s)^2}{2(1 - \mu_s^2)} \quad (7.3.7-7)$$

式中： $N_{cr}$ ——墙肢单位宽度上的临界力（N）；当存在弯矩时，为以最大压力计量的单位宽度上的临界力（N）；

$D_c$ ——墙肢的混凝土部分提供的墙肢厚度方向的抗弯刚度 (mm);

$D_{sm}$ ——墙肢的两个钢表层提供的墙肢厚度方向的抗弯刚度 (mm);

$b$ ——墙肢的厚度

$t_s$ ——墙肢钢板面层的厚度 (mm);

$H$ ——墙肢层高 (不扣除楼板厚度) (mm);

$E_s$ 、 $E_c$ ——钢材、混凝土的弹性模量 ( $N/mm^2$ );

$\mu_s$ 、 $\mu_c$ ——钢材、混凝土的泊松比。

**7.3.8** 三边、四边支承的封闭多腔钢管混凝土组合墙墙肢的平面外压弯稳定性验算应满足下列公式的要求:

**1** 三边支承墙肢:

$$\frac{1}{1-\alpha_{ck}} \left( \frac{\gamma N}{\varphi_{N3} N_u} \right)^{1+\eta_3} - \frac{\alpha_{ck}}{1-\alpha_{ck}} \frac{\gamma N}{\varphi_{N3} N_u} + \frac{\gamma M_x}{M_{ux}} \leq 1 \quad (7.3.8-1)$$

$$\eta_3 = \frac{1}{e^{a_3}} \quad (7.3.8-2)$$

$$a_3 = \left( \frac{1.88 \lambda_{pN}}{1+0.24 \alpha_{ck}} \right)^{1+\frac{1}{1+\lambda_{pN}^3}} \quad (7.3.8-3)$$

$$\varphi_{N3} = \frac{1}{(1-0.45^{3.3} + \lambda_{pN}^{3.3})^{1/1.65}} \leq 1 \quad (7.3.8-4)$$

式中:  $\varphi_{N3}$ ——轴心压力作用下三边支承墙肢稳定系数。

$\lambda_{pN}$ ——轴心压力作用下墙肢正则化宽厚比, 按本规程第 7.3.6 条计算。

**2** 四边支承墙肢时:

$$\frac{1}{1-\alpha_{ck}} \left( \frac{\gamma N}{\varphi_{N4} N_u} \right)^{1+\eta_4} - \frac{\alpha_{ck}}{1-\alpha_{ck}} \frac{\gamma N}{\varphi_{N4} N_u} + \frac{\gamma M_x}{M_{ux}} \leq 1 \quad (7.3.8-5)$$

$$\eta_4 = \frac{1}{e^{a_4}} \quad (7.3.8-6)$$

$$a_4 = \left( \frac{1.2 \lambda_{pN}}{1+0.15 \alpha_{ck}} \right)^{1+\frac{1}{1+\lambda_{pN}^3}} \quad (7.3.8-7)$$

$$\varphi_{N4} = \frac{1}{(1-0.55^{3.6} + \lambda_{pN}^{3.6})^{1/1.8}} \leq 1 \quad (7.3.8-8)$$

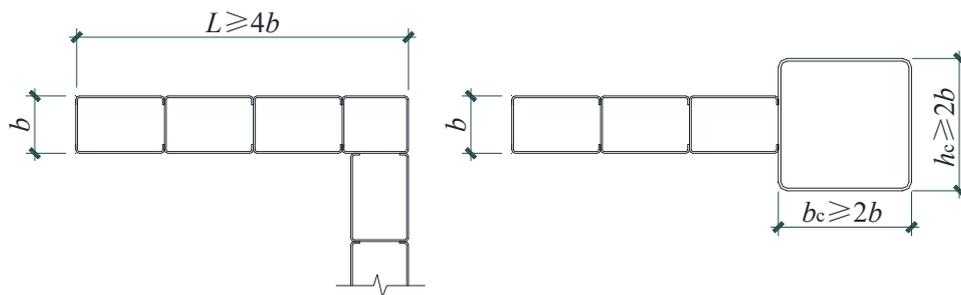
式中： $\varphi_{N4}$ ——轴心压力作用下四边支承墙肢稳定系数。

## 7.4 构造要求

**7.4.1** 钢板组合墙的墙肢可采用翼墙或钢管混凝土端柱作为其平面外的支承边，并应符合下列规定：

**1** 翼墙或端柱在被支承墙肢平面外方向应以钢梁作为支承点并应进行稳定性验算，且该方向上的正则化长细比 $\lambda_0$ 不应大于0.215；

**2** 翼墙长度不应小于其厚度的4倍，端柱边长不应小于墙肢厚度的2倍（图7.4.1）。



(a) 翼墙

(b) 端柱

图 7.4.1 封闭多腔钢管混凝土组合墙的翼墙和端柱

**7.4.2** 钢板组合墙墙肢的轴压比不宜超过表 7.4.2 规定的限值。

表 7.4.2 封闭多腔钢管混凝土组合墙墙肢轴压比限值

抗震等级	一级	二级	三级	四级
轴压比限值	0.5	0.55	0.6	0.65

注：墙肢轴压比是指重力荷载代表值作用下墙肢承受的轴压力设计值与墙肢的全截面抗压强度设计值之比。

7.4.3 封闭多腔钢管混凝土组合墙墙肢的混凝土受压承载力承担系数不宜超过表 7.4.3 规定的限值：

表 7.4.3 封闭多腔钢管混凝土组合墙墙肢混凝土受压承载力承担系数限值

轴压比	≤0.4	>0.4 ≤0.5	>0.5 ≤0.6
限值	0.55	0.5	0.45

7.4.4 一字形钢板组合墙的设计应符合下列规定：

- 1 轴压比限值应比本规程表 7.4.2 规定值减少 0.1；
- 2 长细比 $\lambda$ 不应大于 80。

7.4.5 钢板组合墙的壁板厚度不应小于 4mm，且封闭多腔钢管混凝土组合墙构件中的钢管腔壁板宽厚比应符合表 7.4.5 的规定：

表 7.4.5 钢管腔壁板宽厚比限值

抗震等级		四级，三级		二级		一级
		其他	轴压比 $\geq 0.5$	其他	轴压比 $\geq 0.5$	
无对穿螺栓的腔	墙肢边缘起算第 1 腔	$60\varepsilon_k$	$55\varepsilon_k$	$60\varepsilon_k$	$50\varepsilon_k$	$45\varepsilon_k$
	其他腔	$60\varepsilon_k$	$60\varepsilon_k$	$60\varepsilon_k$	$60\varepsilon_k$	$60\varepsilon_k$
有对穿螺栓的腔	墙肢边缘起算第 2 腔	$72\varepsilon_k$	$72\varepsilon_k$	$72\varepsilon_k$	$60\varepsilon_k$	$60\varepsilon_k$
	其他腔	$75\varepsilon_k$	$75\varepsilon_k$	$72\varepsilon_k$	$72\varepsilon_k$	$60\varepsilon_k$

注： $\varepsilon_k = \sqrt{235 / f_y}$ 。 $w_2$  是设置了对穿螺栓的钢管腔壁板宽度。

7.4.6 设置对穿螺栓的封闭多腔钢管混凝土组合墙，对穿螺栓的间距宜取  $0.5w_2 \sim 0.6w_2$ ，螺杆的直径不应小于 12mm，且螺杆的抗拉强度设计值应满足下式要求：

$$\frac{A_L f_L}{aw_2} \geq 1.5 \quad (7.4.6)$$

式中： $A_L$ ——双头螺杆净截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$f_L$ ——双头螺杆设计强度 (N/mm<sup>2</sup>);

$a$ ——上、下对穿螺栓的间距 (mm);

$w_2$ ——设置了对穿螺栓的钢管腔壁板宽度 (mm)。

**7.4.7** 设置平面钢筋桁架的封闭多腔钢管混凝土组合墙, 平面钢筋桁架的设计应符合下列规定:

1 平面钢筋桁架的间距与外侧钢板厚度的比值不应大于  $60\varepsilon_k$  ;

2 平面钢筋桁架中弦杆宜采用等边角钢, 钢筋桁架的尺寸应符合表 7.4.7 的规定。

表 7.4.7 钢筋桁架尺寸限值

钢板厚度 (mm)	角钢肢长 (mm)	角钢厚度 (mm)	腹杆钢筋直径 (mm)
4	≥40	≥4	≥4
6	≥40	≥4	≥6
8	≥50	≥5	≥8
10	≥50	≥5	≥10

3 平面钢筋桁架的受拉承载力设计值应按下列公式进行计算:

$$T_{\text{utb}} \geq \frac{T_{\text{st}}}{2\cos\theta} \quad (7.4.7-1)$$

$$T_{\text{utb}} = f_{y,\text{tb}} A_{\text{tb}} \quad (7.4.7-2)$$

$$T_{\text{st}} = 1.2f_{y,\text{sw}}^2 \quad (7.4.7-3)$$

式中:  $T_{\text{st}}$  —— 平面钢筋桁架受到的拉力设计值 (N);

$T_{\text{utb}}$  —— 平面钢筋桁架受拉承载力设计值 (N);

$\theta$  —— 腹杆钢筋与水平方向的角度, 不应超过  $55^\circ$ ;

$f_{y,\text{tb}}$  —— 腹杆钢筋的屈服强度 (N/mm<sup>2</sup>);

$A_{\text{tb}}$  —— 腹杆钢筋的截面面积 (mm<sup>2</sup>);

$t_{\text{sw}}$  —— 墙体单侧钢板的厚度 (mm)。

**7.4.8** 封闭多腔钢管混凝土组合墙的钢管腔与腔之间的喇叭形拼装焊缝的熔深不应小于 0.7 倍壁板厚度且不应小于 3mm, 焊缝质量等级不低于三级, 且应满足下式要求:

$$\frac{A_{si}f_y + A_{ci}f_{ck}}{2H_i h_e} \leq f_f^w \quad (7.4.8)$$

式中： $A_{si}$ ——构件横截面上，位于所计算焊缝一侧（构件截面面积较小的一侧）的钢材的截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$A_{ci}$ ——构件横截面上，位于所计算焊缝一侧（构件截面面积较小的一侧）的混凝土的截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$h_e$ ——焊缝计算高度（ $\text{mm}$ ）；

$H_i$ ——所取的构件横截面至反弯点之间的距离，可取该截面以上三层层高（ $\text{mm}$ ）。



图 12 实际焊缝

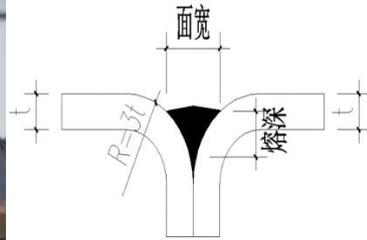
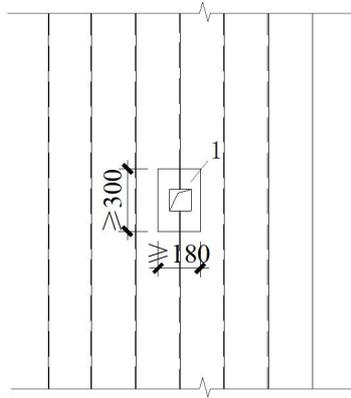


图 13 焊缝示意图

**7.4.9** 钢板组合墙上不宜开设洞口。当无法避免开洞时，宜开圆形洞口，并应符合下列规定：

- 1 洞口宜设在墙肢厚度方向的中间部位；
- 2 洞口的尺寸和位置应避免形成不利于腔内混凝土浇灌的较小空腔；
- 3 洞口周边可采用套管、钢管腔外贴板、局部钢管腔壁板加厚等补强措施。洞口补强后的截面承载力不低于未开孔截面的承载力；
- 4 当开方孔且开孔尺寸不大于  $100\text{mm} \times 100\text{mm}$  时，孔壁周边可采用双侧贴板加强（图 7.4.9），加强板宽、高、厚应分别不小于  $180\text{mm}$ 、 $300\text{mm}$ 、 $10\text{mm}$ 。



1—贴板

图 7.4.9 钢管墙洞口贴板补强

**7.4.10** 钢板组合墙上洞口符合下列要求时，结构整体计算中可不考虑其影响：

**1** 在整个墙肢的长度和高度范围内，洞口边与墙肢两端的净距及洞口与洞口之间的净距不小于洞口的直径或最大边长，且不小于 400mm；

**2** 在每层层高范围内，洞口立面面积不大于墙肢立面面积的 15%。

## 8 连接与节点

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 钢板墙和钢板组合墙结构中的节点及连接应便于安装及检验，连接焊缝设计应符合下列规定：

1 钢板墙和钢板组合墙与钢梁或钢柱的连接焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，对于高层建筑尚应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定；

2 钢板墙与钢柱及钢梁连接可根据钢板墙厚度采用角焊缝或坡口全熔透焊缝，焊缝强度应满足等强连接要求。

3 钢板组合墙上下节墙体壁板及腔体内分隔板对接、墙脚处壁板及腔体内分隔板与底板连接的焊缝应全熔透，焊缝质量等级不应低于二级；

4 焊缝的坡口形式和尺寸，宜根据板厚和施工条件按现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的要求选用。

**8.1.2** 钢结构承重构件螺栓连接，应采用高强度螺栓摩擦型连接，并按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定进行计算。

### 8.2 钢板墙与边缘构件的连接

**8.2.1** 钢板墙与外框架的连接应采用等强连接。外框架与钢板墙之间宜采用鱼尾板连接，鱼尾板与钢梁和钢柱之间应采用熔透焊缝连接，对接焊缝质量等级不应低于二级；鱼尾板尾部与钢板墙之间的搭接连接节点采用两条平行角焊缝现场焊接。

**8.2.2** 钢板墙与外框架梁柱的腹板对齐放置时，钢梁或钢柱腹板的厚度不应小于钢板墙。当框架柱为钢管或钢管混凝土时，边缘

构件的有效刚度应按本规程第 4.2.4 条的有效截面进行计算。

**8.2.3** 当考虑加劲构件对钢板墙的锚固作用时，加劲构件与钢板墙之间应采用等强连接，可采用双面角焊缝或坡口全熔透焊缝，对接焊缝质量等级不应低于二级。当加劲肋仅用于增加钢板墙的平面外弹性刚度时，加劲肋与钢板墙之间的连接焊缝的强度不应小于加劲肋强度的 0.5 倍。

**8.2.4** 当结构内力分析中考虑钢板墙承受竖向荷载或弯矩时，钢板墙底部应与基础之间应采用等强连接。

**8.2.5** 钢柱的鱼尾板宜兼用于钢板墙的安装临时固定，鱼尾板与钢板墙的安装临时固定宜采用一侧的水平或竖向槽孔，就位后鱼尾板和钢板剪力墙的连接应符合本规程第 8.2.1 条的规定。

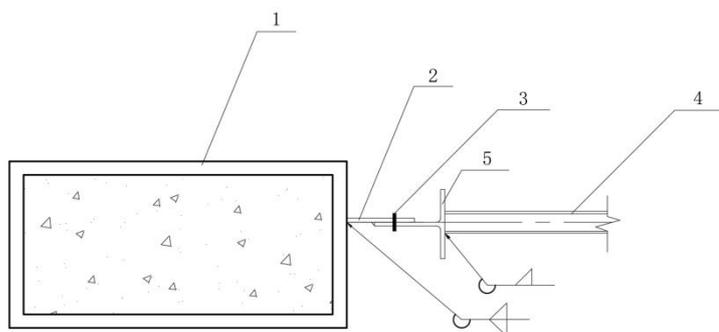


图 8.2.5-1 与框架柱用鱼尾板的焊接连接示意图

1-框架柱；2-鱼尾板；3-安装螺栓（可开槽型孔）

4-波形钢板墙；5-T 型钢

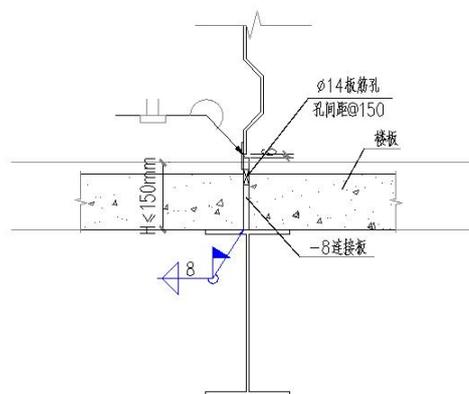


图 8.2.5-2 波形钢板与框架梁的焊接连接

**8.2.6** 波形钢板墙与外框架连接应符合下列规定：

1 波形钢板墙平行棱线方向与外框架梁或柱的连接要求应符合本规程第 8.2.1 条的规定；

2 波形钢板墙垂直棱线方向与框架梁或柱的连接宜采用鱼尾板；鱼尾板与框架梁或柱应采用对接焊缝，质量等级不应低于二级；鱼尾板尾部与波形钢板墙宜采用 T 型钢过渡，T 型钢腹板与鱼尾板的搭接节点采用角焊缝连接，T 型钢翼缘与波形钢板墙采用双面角焊缝连接，连接强度不低于墙体承载力设计值；

3 当鱼尾板兼作安装临时固定时，应符合本规程第 8.2.5 条的规定。

**8.2.7** 楼板钢筋可通过穿孔的方式与钢板墙连接，同一标高处的穿孔率不宜大于 10%。

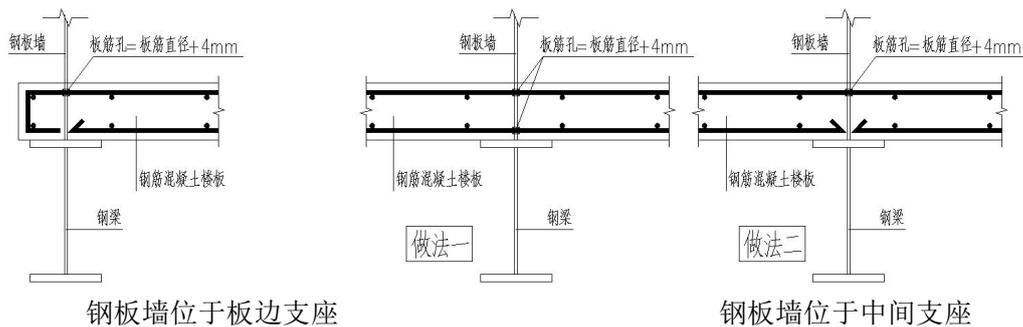


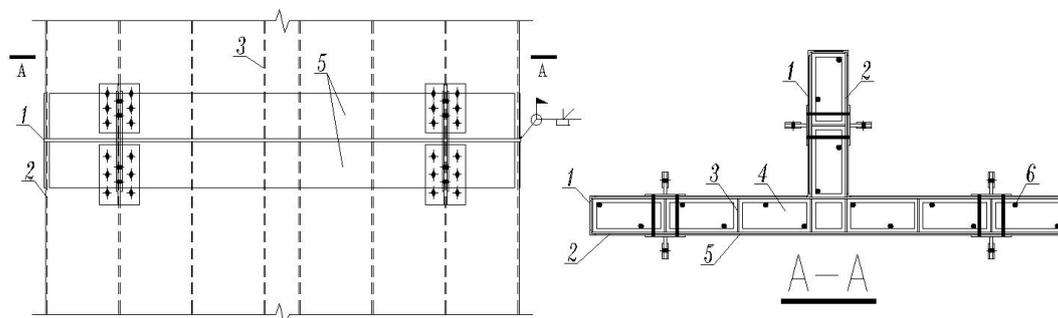
图 8.2.7 钢板墙与楼板连接节点

### 8.3 钢板组合墙拼接节点

**8.3.1** 由外侧钢板和内部分隔肋组成的钢板组合墙，内部分隔板厚度不大于 16mm 时，可采用单面角焊缝与外侧钢板焊接，当分隔板厚度大于等于 16mm 时，宜采用坡口熔透焊缝进行焊接。由冷弯薄壁型钢与其它连接件缀连组成的钢板组合墙，各腔体之间采用角焊缝进行连接，焊缝的有效熔深不应小于 3mm。

**8.3.2** 钢板组合墙可根据构造和运输要求，按多个楼层分段制作。现场拼接处距离楼面应不大于 1.2m~1.3m 或墙净高的二分之一处，取二者的较小值。拼接宜采用横隔板连接方式（图 8.3.2）。钢板组合墙对接处，应采用内部分隔肋焊接、贴板加强、插筋或其他

有效方式加强。横隔板露出墙体壁板 5mm~10mm，若采用贴板加强的方式时，则需要考虑加强板厚度的影响。



1-横隔板; 2-钢板组合墙; 3-内部分隔肋需与横隔板焊接; 4-横隔板开孔; 5-贴板; 6-插筋;

图 8.3.2 钢板组合墙现场拼接节点

### 8.3.3 每段对接拼接处横隔板应符合下列规定:

1 上、下节组合钢板墙等厚度时 (图 8.3.3a), 横隔板厚度不应小于 16mm;

2 上、下节组合钢板墙厚度相差不大于 30mm 时, 可采用墙体中心对齐布置 (图 8.3.3b), 横隔板厚度不应小于 16mm; 也可采用上段墙与下节墙一侧对齐布置, 另一侧贴板加强方式 (图 8.3.3c), 横隔板厚度应满足下式要求, 且不应小于 16mm;

$$t_s \geq C - t_1 + t_2 \quad (8.3.3)$$

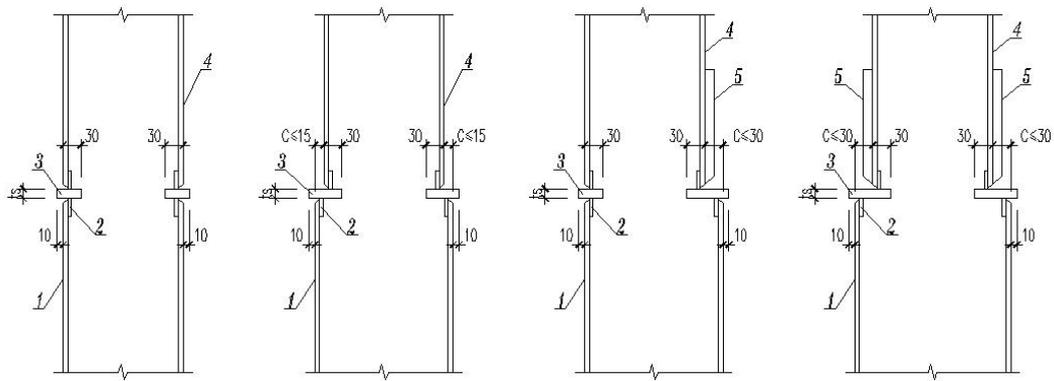
式中:  $t_s$ ——横隔板厚度 (mm), 不应小于 16mm;

$C$  ——上、下节组合钢板墙外壁之间的间距 (mm);

$t_1$  ——下节组合钢板墙壁板厚度 (mm);

$t_2$  ——上节组合钢板墙壁板厚度与加强板厚度之和 (mm)。

3 上、下节组合钢板墙厚度相差大于 30mm 时, 上节组合钢板墙宜与下节组合钢板墙墙居中布置, 两侧贴板加强 (图 8.3.3d) 方式, 横隔板厚度满足式(8.3.3)要求, 且不小于 16mm。



(a) 上下墙等厚度 (b) 中心对齐  $C \leq 15\text{mm}$  (c) 单侧对齐  $C \leq 30\text{mm}$  (d) 中心对齐  $C \leq 30\text{mm}$

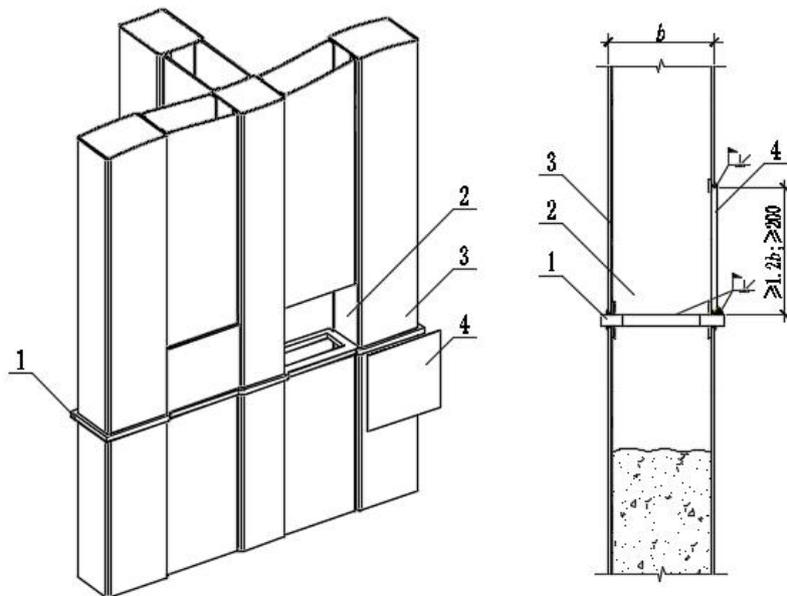
1——下节墙；2——垫板；3——横隔板；4——上节墙；5——加强板

图 8.3.3 钢板组合墙不同墙厚对接做法

**8.3.4** 钢板组合墙对接处采用内部分隔肋焊接加强时，应预留出便于焊接腔内分隔肋的窗口（图 8.3.4），并应符合下列规定：

1 窗口的竖向尺寸不应小于墙体厚度的 1.2 倍，且不小于 200mm。待腔内分隔肋焊接完成后，应采用同尺寸的封板进行封闭焊接，形成封闭腔。封板的厚度应比壁板厚度大 2mm；

2 上、下节墙体的腔内分隔肋与横隔板或底板连接的焊缝，均应为全熔透焊缝，焊缝质量等级不应低于二级。



1——钢板组合墙；2——分隔肋；3——横隔板；4——封板

图 8.3.4 分隔肋焊接示意

**8.3.5** 钢板组合墙对接拼接处分隔肋无法现场焊接于横隔板，或上下段的分隔肋不对齐时，可采用贴板加强（图 8.3.2）。此时应符合下列规定：

1 贴板应沿钢板组合墙外围设置，厚度不小于 4mm 和墙体壁板厚度减 2mm 的较大值，高度不小于墙体厚度的 1.25 倍；

2 贴板周边与钢板组合墙壁板之间采用角焊缝连接，角焊缝的焊角高度宜取贴板和壁板的较小厚度。

3 贴板长度超过三个腔体长度时，应与墙体壁板塞焊，塞焊孔直径不小于 12mm，塞焊孔在墙体每个腔体长度范围内居中设置一个；

4 在贴板与横隔板连接端，贴板与钢板组合墙壁板应同时加工焊缝坡口或企口形式。

**8.3.6** 钢板组合墙对接拼接处采用插筋形式加强（图 8.3.6a）时，应符合下列规定：

1 应针对每道竖向分隔肋设置不少于两根加强插筋，且分散、对称布置（图 8.3.6b）；

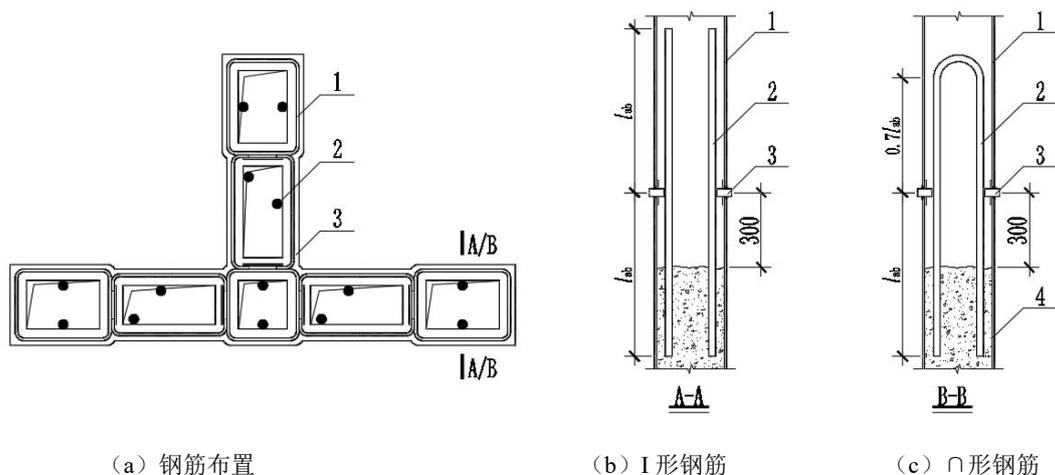
2 插筋抗拉设计承载力之和不小于竖向分隔肋抗拉设计承载力；

3 插筋长度取受拉钢筋基本锚固长度的 2 倍（图 8.3.6b）；

4 插筋的强度等级不宜低于 HRB400；

5 当采用  $n$  形插筋时， $n$  形插筋开口向下，钢筋伸入下段钢管内的锚固长度为基本锚固长度，伸入上段钢管内  $n$  形段总投影长度为 0.7 倍基本锚固长度（图 8.3.6c）；

6 插筋的基本锚固长度依据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定。



1——钢板组合墙；2——插筋；3——横隔板；4——混凝土

图 8.3.6 钢板组合墙对接拼接处插筋加强做法

## 8.4 钢板组合墙墙脚节点

8.4.1 钢板组合墙与基础连接，应符合下列规定：

1 钢板组合墙与基础连接应保证连接抗弯承载力设计值不小于构件内力设计值，连接极限抗弯承载力不小于构件塑性抗弯承载力与连接系数  $\eta_j$  之积，连接极限抗拉承载力不小于构件的塑性抗拉承载力；

2 钢板组合墙的塑性抗弯承载力应取材料强度标准值，按本规程第 7.2.1 条~第 7.2.4 条的规定进行计算， $N$  应取多遇地震作用下墙肢的组合轴力设计值或 0；

3 节点设计应按较不利内力组合情况确定；

4  $\eta_j$  可按表 8.4.1 取值。

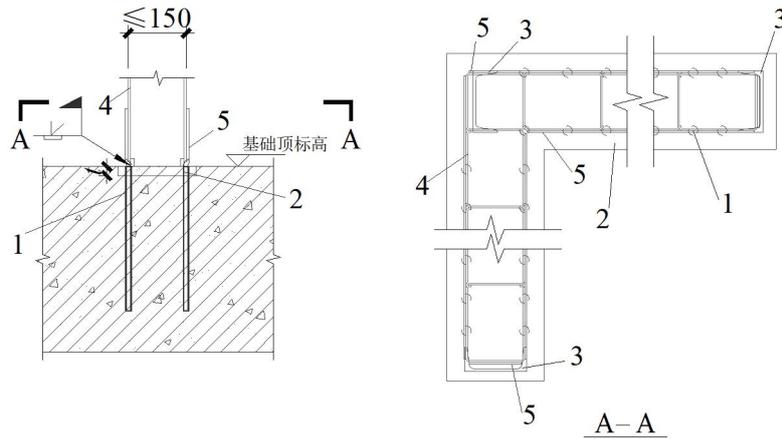
表 8.4.1 钢板组合墙墙脚抗震设计连接系数

嵌固端以下地下室层数	6 度、7 度(0.1g)	7 度 (0.15g)、 8 度 (0.20g)	8 度 (0.30g)
无	1.2	1.2	1.2
一层	1.0	1.2	1.2
二层及以上	—	1.0	1.2

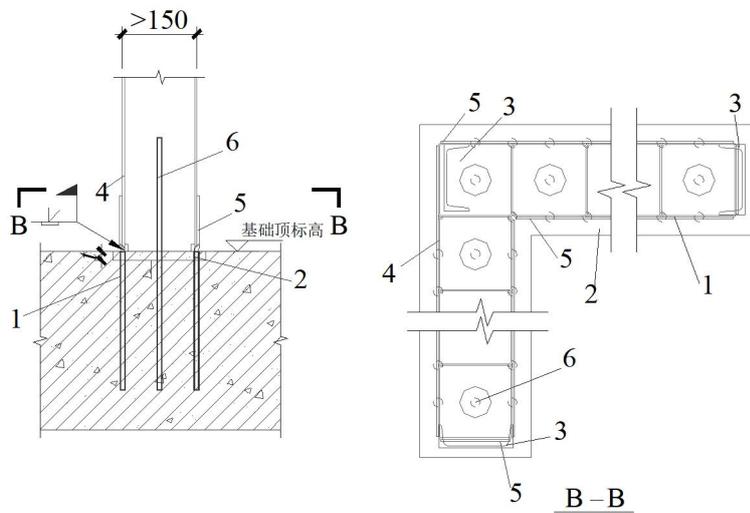
8.4.2 钢板组合墙与基础的连接可采用锚筋式墙脚(图 8.4.3)、埋入式墙脚(图 8.4.5)，或其它可靠的墙脚连接节点。

### 8.4.3 锚筋式墙脚的承载力计算应符合下列规定：

1 钢板组合墙厚度小于等于 150mm 时，可采用无插筋的墙脚形式（图 8.4.3-a）；厚度大于 150mm 时，应采用有插筋的墙脚形式（图 8.4.3-b）；



(a) 无插筋的墙脚



(b) 有插筋的墙脚

1—连接钢筋；2—底板；3—端部型钢；4—钢板组合墙；5—通长贴板；6—插筋；

图 8.4.3 锚筋式墙脚

2 钢板组合墙墙肢轴力和弯矩由受压区连接钢筋（包括端部型钢）及基础混凝土、受拉区连接钢筋（包括端部型钢）共同承担，受压区宽度取为底板有效宽度，受压区边缘取至底板边缘；

3 轴力作用下，连接的抗弯承载力设计值可接受压区连接钢筋（包括端部型钢）及基础混凝土、受拉区连接钢筋（包括端部型钢）均达到强度设计值计算；

4 轴力作用下，连接的极限抗弯承载力可接受压区连接钢筋（包括端部型钢）及基础混凝土达到强度标准值、受拉区连接钢筋（包括端部型钢）达到极限强度计算；

5 钢板组合墙脚底部的水平反力可由底板与混凝土基础间的摩擦力传递（摩擦系数可取为 0.4）。当剪力大于摩擦力时，可计及锚筋的受剪作用，此时应计及锚筋受剪不均匀的影响，不均匀系数应取 1.2；也可设置抗剪键承受。

6 锚筋面积  $A_{s1}$  和端部型钢面积  $A_{s2}$  应符合下列公式规定：

1) 当有剪力、法向拉力和弯矩共同作用时，应按下列两个公式计算，并取其中的较大值：

$$\frac{V}{0.83\alpha_v f_y A_{s1}} + \frac{N}{0.8\alpha_b (f_y A_{s1} + f A_{s2})} + \frac{M_x}{1.3\alpha_b z (f_y A_{s1} + f A_{s2})} \leq 1.0 \quad (8.4.3-1)$$

$$\frac{N}{0.8\alpha_b (f_y A_{s1} + f A_{s2})} + \frac{M}{0.4\alpha_b z (f_y A_{s1} + f A_{s2})} \leq 1.0 \quad (8.4.3-2)$$

2) 当有剪力、法向压力和弯矩共同作用时，应按下列两个公式计算，并取其中的较大值：

$$\frac{V - 0.4N}{0.83\alpha_v f_y A_{s1}} + \frac{M_x - 0.4Nz}{1.3\alpha_b z (f_y A_{s1} + f A_{s2})} \leq 1.0 \quad (8.4.3-3)$$

$$\frac{M_x - 0.4Nz}{0.4\alpha_b z (f_y A_{s1} + f A_{s2})} \leq 1.0 \quad (8.4.3-4)$$

$$\alpha_v = (4.0 - 0.08d) \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} \quad (8.4.3-5)$$

$$\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d} \quad (8.4.3-6)$$

式中： $f_y$ ——锚筋的抗拉强度设计值（N/mm<sup>2</sup>），当大于

300N/mm<sup>2</sup> 时取 300N/mm<sup>2</sup>;

$f_c$  ——基础混凝土抗压强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>);

$V$  ——剪力设计值 (N/mm<sup>2</sup>);

$N$  ——法向拉力或法向压力设计值(N), 法向压力设计值不应大于  $0.5f_cA$ , 此处,  $A$  为锚板的面积 (mm<sup>2</sup>);

$M_x$  ——弯矩设计值 (N • mm);

$a_v$  ——锚筋的受剪承载力系数;

$d$  ——锚筋直径 (mm);

$a_b$  ——锚板的弯曲变形折减系数;

$t$  ——底板厚度 (mm);

$z$  ——沿剪力作用方向最外层锚筋中心线之间的距离 (mm)。

7 底板有效宽度取钢板组合墙墙厚与两侧贴板厚度及两侧底板有效外伸宽度之和。底板外伸未设加劲肋时, 每侧有效外伸宽度可按下式计算, 且不应大于实际外伸宽度:

$$c = t \sqrt{\frac{f}{3f_c}} \quad (8.4.3-7)$$

式中:  $c$  ——底板自墙体贴板外侧算起的有效外伸宽度 (mm);

$f$  ——底板钢材强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>);

$f_c$  ——基础混凝土抗压强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>);

$t$  ——底板厚度 (mm)。

**8.4.4** 锚筋式墙脚的构造应符合下列规定:

1 钢筋宜采用 HRB400 钢筋，不应采用冷加工钢筋；钢筋直径不应小于 18mm，不宜大于 28mm，钢筋的间距不应小于 3d（d 为钢筋直径），且应利于基础顶部钢筋避开。

2 底板边缘至锚筋中心的距离不应小于 2d 和 20mm；底板厚度不宜小于 d，且宜大于  $l/8$ ， $l$  为锚筋的间距。

3 连接钢筋与底板应采用穿孔塞焊，塞焊深度不小于  $(2/3)d$  且不小于 10mm，并在底板底部与钢筋围焊，焊脚高度 8~10mm，且不小于锚筋直径的 0.5 倍。插筋锚入钢板组合墙内的长度不应小于 40d；

4 连接钢筋及插筋锚入基础的长度不应小于抗震锚固长度  $l_{aE}$ ；

5 抗剪件可采用型钢或钢板，埋入基础内的深度不宜小于 150mm，抗剪件不应切断基础水平钢筋；

6 钢板组合墙墙体与底板连接处，应于四周外侧贴板加强，贴板厚度不小于墙体壁板厚度和 8mm 的较大值，贴板高度不小于 1.3b，b 为墙肢厚度。贴板与墙体壁板采用塞焊连接，塞焊的孔径为 12mm，塞焊孔在每个墙体内部空腔单元范围内至少居中设置一个，且相邻的塞焊孔间距不宜大于 400mm。

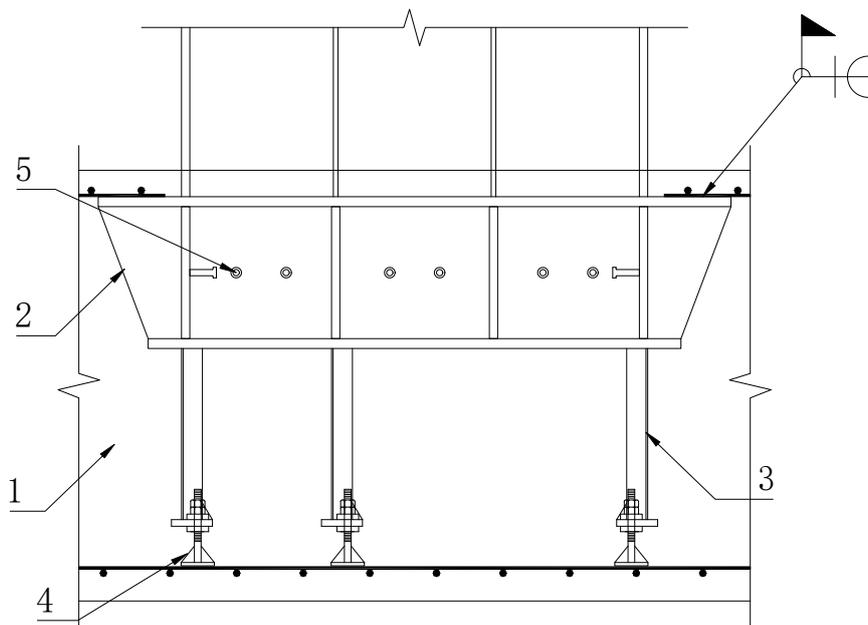
#### 8.4.5 埋入式墙脚的构造应符合下列规定：

1 钢板组合墙埋入混凝土基础的部分可采用倒 T 形牛腿形式(图 8.4.5)，牛腿的下部宜设置抗拔角钢；

2 墙脚的埋置深度宜根据抗震性能化设计要求经计算确定；

3 墙脚的埋置深度范围内应设置栓钉，栓钉直径不宜小于 19mm，水平和竖向间距不宜小于 6d 且不宜大于 200mm，边距不宜小于 50mm 且不宜大于 100mm；

4 安装、调节需要时，可在抗拔角钢底部设置地脚螺栓，地脚螺栓的数量和规格应根据施工阶段的实际荷载情况计算确定，并采用混凝土层或支架固定。



1—基础筏板或承台；2—倒 T 形牛腿；3—抗拔角钢；4—地脚螺栓；5—栓钉

图 8.4.5 埋入式墙脚

## 8.5 钢梁与钢板组合墙连接节点

**8.5.1** 钢梁与钢板组合墙的连接节点应构造简单、传力明确、安全可靠、满足建筑要求。节点应具有延性，并应避免出现应力集中和过大约束应力。

**8.5.2** 钢梁与钢板组合墙的刚性连接，可采用贴板式刚接节点（图 8.5.3）、锚筋与槽形加强板组合的刚性节点（图 8.5.4），或其它可靠的连接节点。

**8.5.3** 钢梁与钢板组合墙采用贴板式刚接的形式时（图 8.5.3），宜采用牛腿拼接连接构造，并应符合下列规定：

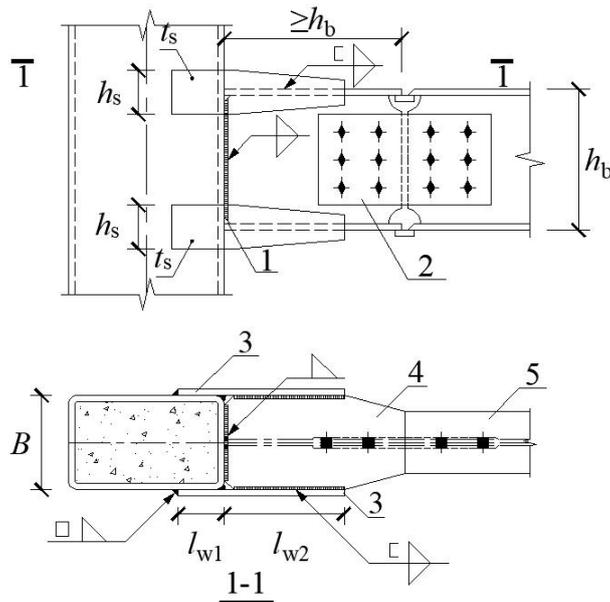
1 钢梁达到抗弯承载力设计值时，侧板传递的轴力应按式（8.5.3-1）计算；钢梁达到全塑性抗弯承载力时侧板传递的轴力按式（8.5.3-2）计算：

$$N_f = M_e/h_{b1} \quad (8.5.3-1)$$

$$N_{fp} = \eta_j M_p/h_{b1} \quad (8.5.3-2)$$

式中：  $N_f$  ——钢梁达到受弯承载力设计值时，侧板的轴力（N）；

- $N_{fp}$  ——钢梁达到全塑性受弯承载力时，侧板的轴力 (N)；
- $M_e$  ——钢梁抗弯承载力设计值 (N·mm)；
- $M_p$  ——钢梁全塑性受弯承载力 (N·mm)；
- $h_{b1}$  ——钢梁上、下翼缘中心距离 (mm)。
- $\eta_j$  ——连接系数，当钢梁材质为 Q235 时，取 1.4；当钢梁材质为 Q355 时，取 1.3；钢梁采用屈服强度高于 Q355 钢材时，按 Q355 的规定采用。



1——20x20 切角；2——抗剪连接板；3——贴板；4——牛腿；5——钢梁

图 8.5.3 贴板式梁柱刚接节点示意

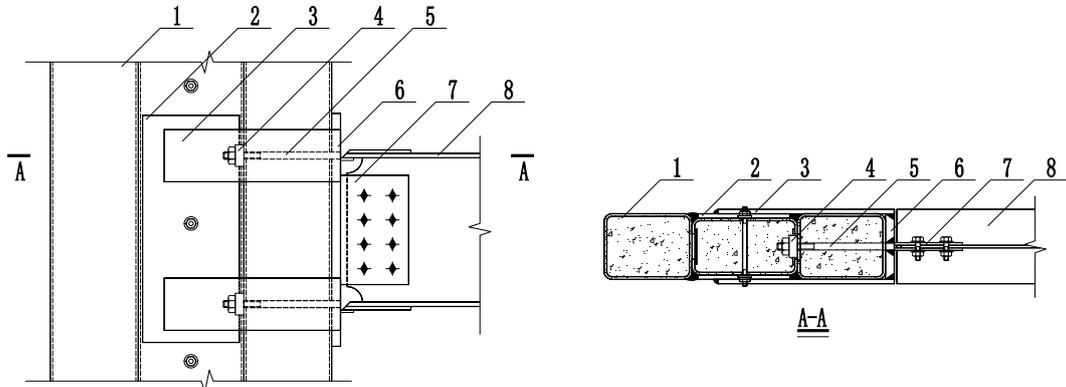
**2** 贴板抗拉承载力设计值、贴板与牛腿翼缘之间角焊缝的承载力设计值、贴板与柱侧壁之间角焊缝的承载力设计值不应小于  $N_f$ 。

**3** 贴板极限承载力、贴板与牛腿翼缘之间角焊缝的极限承载力、贴板与柱侧壁之间角焊缝的极限承载力不应小于  $N_{fp}$ 。

**4** 贴板与柱侧壁连接处，柱壁板应按拉剪破坏模式计算，拉剪区域计算长度应为焊缝长度。拉剪区域的承载力设计值不应小于  $N_f$ ，极限承载力不应小于  $N_{fp}$ 。

**5** 牛腿与柱壁板之间角焊缝的承载力设计值不应小于钢梁受剪承载力设计值，牛腿与柱壁板之间角焊缝的极限承载力不应小于梁端抗弯屈服或抗剪屈服时的剪力。

**8.5.4** 钢梁与钢板组合墙采用锚筋与槽形加强板组合的刚接节点时（图 8.5.4），宜设置牛腿，并应符合下列规定：



1——钢板组合墙；2——节点域填板；3——侧板；4——锚固板；  
5——锚筋；6——端板；7——连接板；8——钢梁

**图 8.5.4 钢梁与钢板组合墙锚筋式刚接节点**

**1** 钢梁达到受弯承载力设计值、钢梁达到全塑性受弯承载力时侧板的轴力应分别按本规程式（8.5.4-1）、式（8.5.4-2）计算；

**2** 侧板与端板的焊缝连接应与侧板等强、侧板与组合墙之间角焊缝，承载力设计值和极限承载力应分别不小于  $N_f$  和  $N_{fp}$ ；

**3** 钢梁达到抗弯承载力设计值时，端板厚度应满足式（8.5.4-1）的要求；钢梁达到全塑性抗弯承载力时，端板厚度应满足式（8.5.4-2）的要求；

$$t_p = \sqrt{\frac{(t_{fb} b_f + 0.25 t_{wb} h_w) f_b - \sum f_r A_{s1} \frac{s_i}{b_f}}{\left(\frac{h_w}{b_f} + \frac{2b_f}{h_w} + 2\sqrt{2}\right) f_p}} \quad (8.5.4-1)$$

$$t_p = \sqrt{\frac{3\eta_j (t_{fb} b_f + 0.25 t_{wb} h_w) f_{yb} - 3 \sum f_{yr} A_{s1} \frac{s_i}{b_f}}{\left(\frac{h_w}{b_f} + \frac{2b_f}{h_w} + 2\sqrt{2}\right) (2f_{yp} + f_{up})}} \quad (8.5.4-2)$$

式中：  $t_p$  ——端板厚度（mm）；

$h_w$ 、 $t_{wb}$  ——钢梁腹板的高度、厚度（mm）；

$b_f$ 、 $t_{fb}$  ——钢梁翼缘的宽度、厚度（mm）；

$S_i$  ——沿翼缘宽度方向, 锚筋到最近的端板边缘的距离 (mm);

$A_{sl}$  ——单根锚筋的截面面积 (mm<sup>2</sup>);

$f_b$ 、 $f_{yb}$  ——钢梁翼缘钢材的抗拉强度设计值、屈服强度 (N/mm<sup>2</sup>);

$f_r$ 、 $f_{yr}$  ——锚筋的抗拉强度设计值、屈服强度 (N/mm<sup>2</sup>);

$f_p$ 、 $f_{yp}$ 、 $f_{up}$  ——端板钢材的抗拉强度设计值、屈服强度、抗拉强度 (N/mm<sup>2</sup>)。

**4** 锚筋及端板与墙体的连接构造应符合下列规定: 端板应从钢梁上下翼缘外表面向外各伸出不少于  $1.12bf$ , 宽度不小于墙体厚度; 端板与墙体采用角焊缝围焊; 墙体内与钢梁上下翼缘相对应位置应设置锚筋。锚筋宜采用 HRB400 钢筋, 不应采用冷加工钢筋。锚筋直径不应小于 16mm, 不应大于 22mm。锚筋锚入墙体的一端应设置端板, 端板边长不小于 60mm, 厚度不小于 20mm, 端板与锚筋的焊缝焊脚尺寸应按等强要求确定。

**8.5.5** 钢梁与钢板组合墙刚性连接节点, 墙板节点域长度应满足下式要求:

$$2(l_1t_1 + l_2t_2)f_{vy} \geq 1.25A_{fb}f_{yb} \quad (8.5.5)$$

式中:  $l_1$  ——第一个腔矩形钢管的宽度 (mm);

$t_1$  ——第一个腔矩形钢管的壁板厚度 (mm);

$l_2$  ——第二个腔矩形钢管的宽度 (mm);

$t_2$  ——第二个腔矩形钢管的壁板厚度 (mm);

$f_{vy}$  ——钢板组合墙板的剪切屈服强度 (N/mm<sup>2</sup>);

$A_{fb}$  ——钢梁翼缘截面面积 (mm<sup>2</sup>);

$f_{yb}$  ——钢梁翼缘钢板屈服强度 (N/mm<sup>2</sup>)。

**8.5.6** 抗震等级为一、二级的框架梁, 与钢板组合墙刚接时宜采用能将塑性铰自梁端外移的端部扩大形连接、梁端加盖板或削弱式的骨形连接、翼缘开孔削弱型连接。

**8.5.7** 钢梁与钢板组合墙垂直方向连接应采用铰接, 在墙体上焊接抗剪连接板, 采用高强螺栓与钢梁腹板进行连接。当钢板组合

墙的壁板 $<8\text{mm}$ 时，连接件应采用T形连接件，T形件的翼缘焊接于墙板（图8.5.7），并对连接件和焊缝的承载力验算。其节点构造应符合下列规定：

- 1 T形连接件与钢板组合墙壁板采用角焊缝围焊；
- 2 钢板组合墙壁板应按三面破坏的拉剪破坏（block shear）模式，采用下式计算（图8.5.7）：

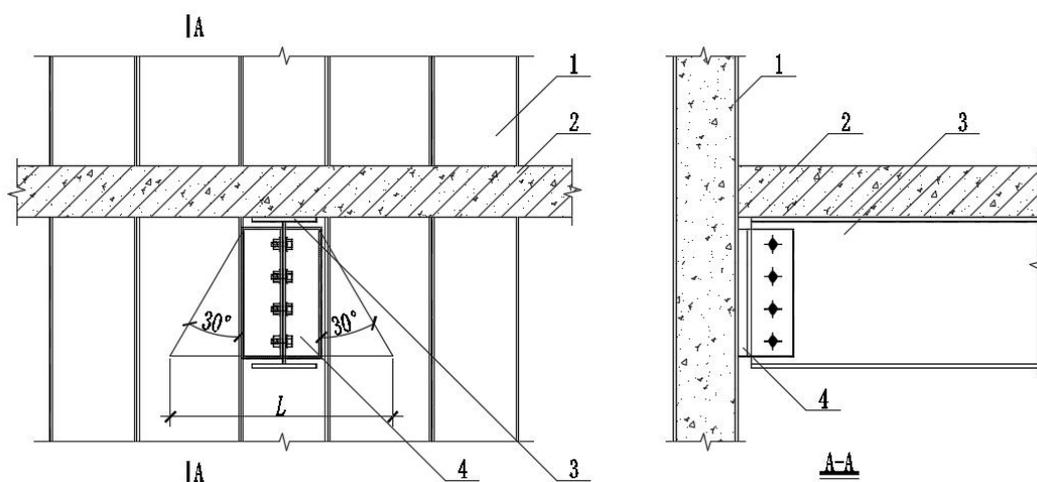
$$V_b \leq (L t_s) f \quad (8.5.7)$$

式中： $V_b$  ——钢梁的剪力设计值（ $\text{N/mm}^2$ ）；

$f$  ——钢板组合墙壁板的抗拉强度设计值（ $\text{N/mm}^2$ ）；

$L$  ——钢板组合墙壁板上的计算宽度（ $\text{mm}$ ）；

$t_s$  ——壁板厚度（ $\text{mm}$ ）。



1——钢板组合墙；2——楼板；3——钢梁；4——T形连接件

图 8.5.7 梁墙铰接节点

## 8.6 楼板与钢板组合墙连接节点

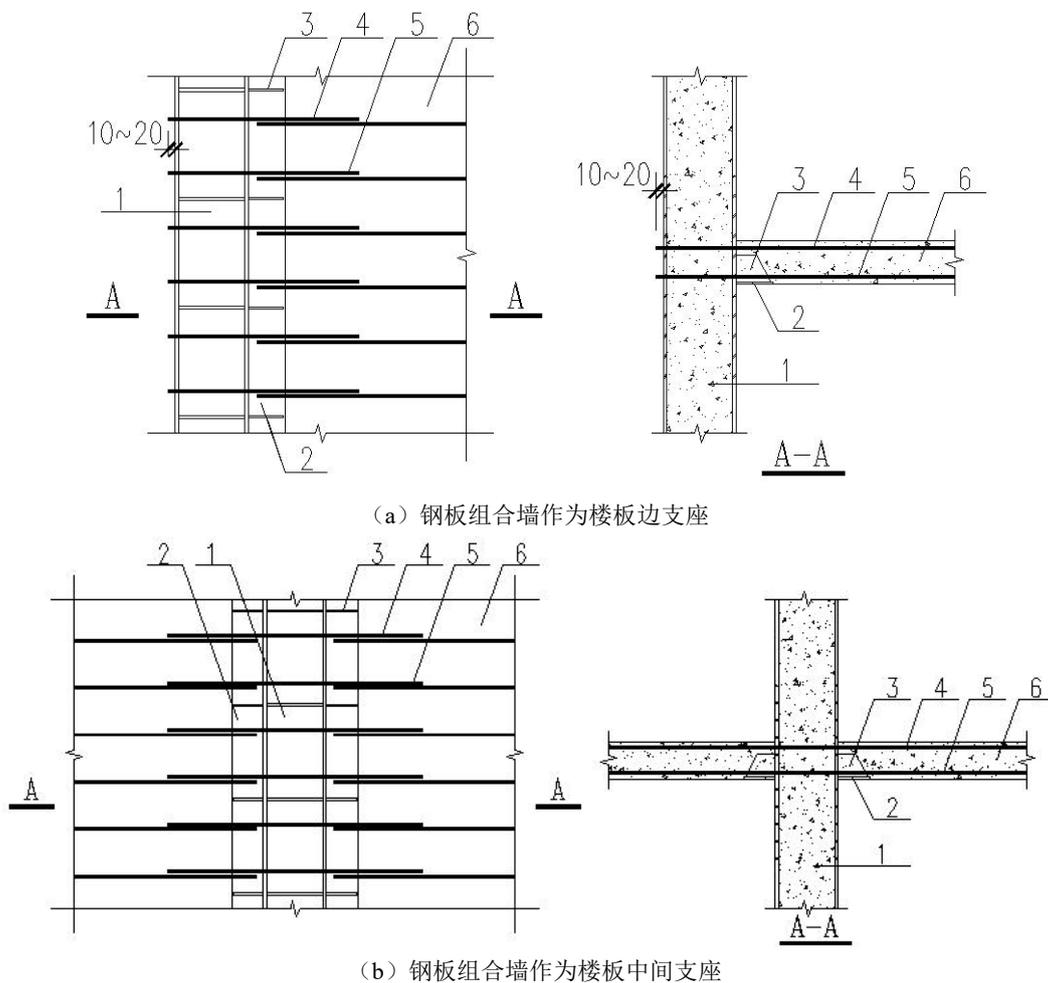
**8.6.1** 钢板组合墙作为现浇楼板边支座时，楼板按简支边计算。

**8.6.2** 现浇楼板与钢板组合墙的连接做法如图8.6.2所示，并应符合下列规定：

1 钢板组合墙对应楼板厚度范围内，应按楼板配筋预留穿筋孔，结构计算时应考虑穿筋孔造成的截面削弱。

2 钢板组合墙对应楼板底部，应设置厚度不小于5mm条形

通长支托板作为楼板支座，支托板宽度最窄处不应小于 50mm，并设有加劲肋。加劲肋厚度不小于 5mm，高度不宜小于楼板厚度的 2/3，设置在钢板组合墙分隔肋处。



1——钢板组合墙；2——支托板；3——加劲肋；  
4——顶部支座钢筋 1；5——底部支座钢筋 2；6——楼板

图 8.6.2 现浇楼板与钢板组合墙连接节点

3 钢板组合墙对应楼板厚度范围内应设置支座钢筋，支座钢筋强度应与楼板钢筋强度等级相同。

4 钢板组合墙作为楼板边支座时（图 8.6.2a），配筋量不小于楼板同方向跨中上、下层钢筋的计算配筋量。支座钢筋应穿过墙体后应外露 10~20mm，伸入楼板内长度不应小于钢筋基本锚固长度。

5 钢板组合墙作为楼板中间支座时（图 8.6.2b），支座钢筋的

配筋量应按连续板中间支座处的负弯矩计算确定，下层支座钢筋的配筋量不小于楼板同方向跨中下层钢筋的计算配筋量，伸入楼板内长度不应小于钢筋基本锚固长度。

## 9 钢结构防护

### 9.1 防火设计

**9.1.1** 钢板墙和钢板组合墙的设计耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定。承受竖向荷载的钢板墙以及钢板组合墙的耐火极限宜按柱的要求取值。当钢板墙按不承受竖向荷载设计时，耐火极限可按梁的要求取值。

**9.1.2** 当钢板墙和钢板组合墙构件的耐火时间不能达到规定的设计耐火极限要求时，应采取防火保护措施，其中抗火性能验算应符合现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的有关规定。

**9.1.3** 钢板墙和钢板组合墙构件的防火保护可采用下列措施之一或其中几种的组合：

- 1 涂覆非膨胀型防火涂料；
- 2 包覆防火板；
- 3 包覆柔性毡状隔热材料；
- 4 外包或填充不燃材料。

**9.1.4** 构件采用防火涂料进行防火保护时，高强度螺栓连接处的涂层厚度不应小于相邻构件的涂料厚度。

**9.1.5** 在构件外表面设置防火保护层时应采取合适的构造措施，并应符合下列规定：

1 非膨胀型防火涂层厚度不应小于 10mm，当涂层厚度不小于 25mm 时，宜在防火涂层内加网施工，金属丝网的网格边长不宜大于 20mm，直径不宜小于 1mm；

2 采用外包混凝土作为防火保护层时，混凝土的强度等级不宜低于 C20；

3 采用水泥砂浆作为防火保护层时，应在砂浆内布置金属网。

砂浆的强度等级不宜低于 M5，砂浆最小厚度不宜小于 25mm；

4 采用蒸压加气混凝土砌块作为防火保护层时，构件表面应涂刷界面剂，砌块底面及砌块之间应用砂浆填缝；

5 采用岩棉板作为防火保护层时，将岩棉板贴靠在构件外表面后，宜布置龙骨进行卡固或其他可靠措施固定岩棉。

9.1.6 钢板组合墙构件应在每个楼层设置直径为 12mm~15mm 的排气孔，如图 9.1.6 所示，并应符合下列规定：

1 在第一节构件的底部不大于 250mm 处设一排排气孔，其它节的构件排气孔宜设在钢梁上翼缘的不小于 250mm 处；

2 对于多腔式墙体，宜在每个腔体布置 1 个排气孔。

3 当楼层高度大于 6m 时，应增设排气孔，且排气孔沿墙高度方向间距不宜大于 6m。

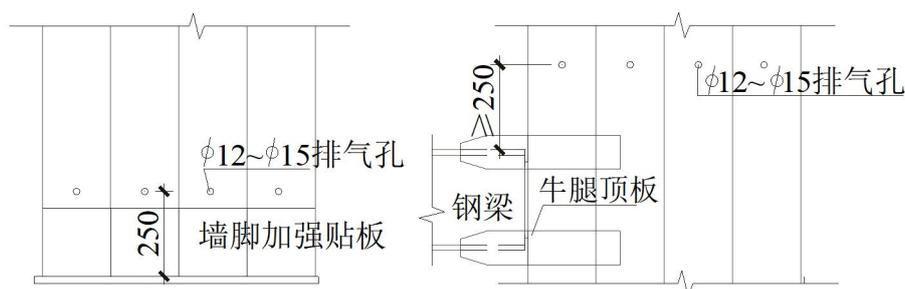


图 9.1.6 排气孔的构造

## 9.2 防腐蚀设计

9.2.1 钢材表面原始锈蚀等级和钢材除锈等级标准应符合下列规定：

1 表面原始锈蚀等级为 D 级的钢材不应用作结构钢；

2 表面处理的清洁度要求不宜低于现行国家标准《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 规定的 Sa 2½级，表面粗糙度要求应符合防腐蚀方案的特性；

3 局部难以喷砂处理的部位可采用手工或动力工具，达到现

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 规定的 St3 级，并应具有合适的表面粗糙度，选用合适的防腐蚀产品；

4 喷砂或抛丸用的磨料等表面处理材料应满足防腐蚀产品对表面清洁度和粗糙度的要求，并应满足环保要求。

**9.2.2** 防腐蚀涂料的配套方案，可根据环境腐蚀条件、防腐蚀设计年限、施工和维修条件等要求设计。修补和焊缝部位的底漆应能适应表面处理的条件。

**9.2.3** 建筑内部不应有外露钢结构。室外裸露的钢结构构件防腐蚀保护层厚度应按现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 根据所处大气环境对建筑钢结构长期作用下的腐蚀性等级确定。

**9.2.4** 室内环境下，钢构件表面采用防火涂料、水泥砂浆、砌筑砌体等进行防火保护时，可不使用面涂层，其防腐蚀保护层的最小厚度不应小于 140 $\mu\text{m}$ 。

**9.2.5** 地下室部分的钢构件表面未采用面涂层时，防腐蚀保护层最小厚度不应小于 200 $\mu\text{m}$ 。

**9.2.6** 卫生间、厨房等室内用水房间部位的钢构件表面，防腐保护应符合下列规定：

1 墙面应设置厚度不小于 30mm 的水泥砂浆；

2 未采用面涂层时，防腐蚀保护层的厚度不应小于 200 $\mu\text{m}$ ；

3 卫生间墙面的水泥砂浆表面应设置防水层，并应在楼层墙脚部位设置素混凝土翻边，翻边高度不应小于 150mm，厚度不小于 30mm；

4 卫生间内的钢梁防火保护层表面宜采用防水砂浆。

**9.2.7** 钢构件直接埋入土层时，应外包钢筋混凝土，钢构件外表面至混凝土外表面厚度均不应小于 100mm。

**9.2.8** 底层边部和角部的钢构件外侧宜采用细石混凝土、水泥砂浆

等措施进行包覆，包裹高度宜伸出室外地面不宜小于 150mm。采用水泥砂浆包覆时，保护厚度不宜小于 30mm。

**9.2.9** 维护困难的部位，可采用下列任意一种方式进行加强处理：

**1** 构件涂层厚度可增加 20 $\mu\text{m}$ ~60 $\mu\text{m}$ ；

**2** 按现行行业标准《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251 的有关规定进行腐蚀裕量计算。

## 10 制作与安装

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 钢板、钢带、冷弯薄壁型钢、矩形钢管及焊接材料等的品种、规格、性能等应按设计文件的规定，并应符合国家现行产品标准。

**10.1.2** 钢板墙和钢板组合墙在制作前，应根据设计文件、施工方案文件和工厂技术条件等编制加工工艺文件。加工工艺文件应包含下列内容：

- 1 焊接质量的保证措施；
- 2 减少钢板焊接变形措施；
- 3 控制出厂构件几何尺寸的措施；
- 4 结构防腐施工工艺及要求；
- 5 构件出厂运输及成品保护措施。

**10.1.4** 钢板墙和钢板组合墙在安装前，应编制专项施工方案，专项施工方案应包括下列内容：

- 1、进场检验；
- 2、堆放和防变形措施；
- 3、吊装和安装固定；
- 4、现场焊接阶段和焊接顺序等内容；
- 5、季节性施工技术措施；
- 6、安全保障措施；
- 7、受大风或其他水平荷载影响的固定措施。

**10.1.5** 钢板墙和钢板组合墙安装应根据结构特点按照合理的顺序进行，并应形成稳定的空间刚度单元，必要时应增加临时支承结构或临时措施。

**10.1.6** 钢板墙和钢板组合墙内混凝土的冬期施工应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的有关规定。

**10.1.7** 钢板墙和钢板组合墙防腐涂装施工宜在构件组装和预拼装工程检验批的施工质量合格后进行。

## **10.2 制作和涂装**

**10.2.1** 钢板墙和钢板组合墙构件制作应符合下列规定：

**1** 钢板墙和钢板组合墙构件在制作前应根据设计文件绘制钢结构加工详图。钢结构加工详图应根据施工方案或施工组织设计的要求、加工制作厂的生产条件、现场施工条件等确定钢板墙和钢板组合墙构件的出厂分段或工地拼装节点位置。

**2** 钢板墙和钢板组合墙构件下料宜采用激光或数控等离子切割，切割面应无裂纹、夹渣、分层和缺棱；

**3** 焊缝坡口切割宜整条一次性切割，中间有缺棱时，应采用匹配的焊材补焊并打磨；

**4** 钢板墙和钢板组合墙构件组装应严格按制作工艺文件规定的顺序进行组装；

**5** 钢板墙和钢板组合墙构件的工厂焊接，宜采用焊接变形和收缩量小且焊接残余应力低的焊接工艺；

**6** 钢板墙和钢板组合墙构件组装前应对零部件进行严格检查，组装偏差应符合设计图纸要求，外形尺寸允许偏差应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 的有关规定；组装焊接及焊缝的允许偏差应符合国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 的有关规定。

**7** 制作墙上螺栓孔时，宜采用数控钻孔或激光切孔；

**8** 螺栓孔孔径应满足设计要求，高强度螺栓连接构件制孔允许偏差应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定；普通螺栓连接构件制孔允许偏差应符合现行

国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定，螺栓孔孔壁表面粗糙度（Ra）不应大于 25 μm。

9 钢板墙和钢板组合墙构件制作完成后应进行质量验收，外形尺寸的允许偏差应符合国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 的有关规定。

**10.2.2** 钢板墙和钢板组合墙构件涂装应符合下列规定：

1 钢板墙和钢板组合墙构件的除锈和涂装应在制作质量检验合格后进行，应采用喷射或抛丸除锈，除锈等级不应低于 Sa 2½；

2 钢板墙和钢板组合墙构件涂料及涂层厚度应符合设计要求，构件表面的涂装系统应相互兼容；

3 涂装施工时，应采取相应的环境保护和劳动保护措施；

4 涂层完成后，应按工艺要求对构件进行编号、标识。编号应与施工详图的构件编号一致，用于编号、标识的油漆颜色应不同于构件面漆色，且字迹应清楚整齐。

**10.2.3** 钢板墙和钢板组合墙构件运输应符合下列规定：

1 钢板墙和钢板组合墙构件在运输过程中，宜采用专用胎架；

2 钢板墙和钢板组合墙构件在装卸车及吊装时，应采用牢固的绑扎方式，吊点设置宜选择保证钢板墙变形最小的位置。全过程应平稳进行，不得碰撞、歪扭、快起和急停。应控制吊装时的构件变形，在构件吊装就位后宜同步进行校正。

## 10.3 安装

**10.3.1** 钢板墙和钢板组合墙结构在安装前，应根据设计图纸编制安装工程施工组织设计，对于复杂异形结构还应进行施工过程模拟分析，并采取相应安全技术措施。

**10.3.2** 钢板墙和钢板组合墙进场后，宜集中堆放，且应符合下列规定：

1 安装现场应设置构件堆场，并应采取防止钢板墙和钢板组

合墙构件变形及表面污染的保护措施；

- 2 构件堆放应按安装逆顺序堆放，中间加垫木，并交错堆放；
- 3 构件堆放时，编号、标识应外露。

**10.3.3** 安装之前，应按明细表仔细核对进场的构件，并对构件的外形尺寸、螺栓孔直径及位置，连接件位置及角度、焊缝、高强度螺栓接头抗滑移面加工质量、表面的涂层等进行检查，符合设计图纸和相关技术要求后，方能进行安装作业。

**10.3.4** 安装施工前，应检查复核吊装设备及吊具处于安全操作状态，并核实现场环境、天气、道路状态等满足吊装施工要求。

**10.3.5** 在吊装前应检查钢板组合墙腔体内情况，清除腔体内杂物和上下拼接面的渣土和浮锈等，保证上下节构件对接焊接时焊道内的清洁。

**10.3.6** 钢板墙和钢板组合墙结构安装调整宜先调整标高，再调整水平位移高，最后调整垂直偏差，每节钢板墙和钢板组合墙的定位轴线应从地面控制基准线向上引，不得引用下节钢板墙和钢板组合墙的轴线。标高控制需从同一控制网引测，避免累计误差。

**10.3.7** 同层钢板墙和钢板组合墙同时采用高强螺栓和焊接连接时，应先进行高强螺栓施工再进行焊接施工。

**10.3.8** 钢板墙和钢板组合墙现场焊接应符合下列规定：

- 1 整体焊接时，竖向应自下而上焊接，平面上应以中心单元为基点向两侧逐块对称焊接；

- 2 单个单元的焊接时，应先焊接立焊缝再焊接横焊缝；

- 3 钢板厚度不小于 30mm 时，宜采用双面坡口焊缝，且横焊缝宜采用 K 形坡口焊缝，立焊缝宜采用 X 形坡口焊缝；

- 4 宜采用分段焊或间断焊工艺，或采用刚性固定法等防止钢板墙焊接变形的措施。

**10.3.9** 钢板墙和钢板组合墙在现场安装焊接时须在结构校正后进行，每个焊接接头应由两名或多名焊工以相等的速度同时对称施焊。其现场焊接应符合下列规定：

- 1 焊接时应采取措施严格控制焊接变形；
- 2 根据板的不同厚度采取相应的预热措施及层间温度控制措施；
- 3 实施分段的多层多道焊，每焊完一道后应及时清理焊渣及表面飞溅，发现影响焊接质量的缺陷时，应清除后方可再焊；
- 4 连续焊接时应控制焊接区母材温度，保证层间温度符合要求，遇有中断焊接作业的特殊情况，应采取保温措施，再次焊接时，应重新预热且应高于初始预热温度；
- 5 焊接时严禁在焊缝以外的母材上打火引弧；
- 6 焊后应认真清除焊缝表面飞溅、焊渣、焊缝不得有咬边、气孔、裂纹、焊瘤等缺陷和焊缝表面存在几何尺寸不符现象，不得因切割连接板、刨除垫板等工作而伤及母材，连接板、引入、引出板刨除后的表面应光滑平整。

## 10.4 钢板组合墙内混凝土浇筑

**10.4.1** 钢板组合墙内混凝土浇筑，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的有关规定。钢板组合墙内混凝土宜采用从顶部向下浇筑，不应采用泵送顶升浇筑法。

**10.4.2** 钢板组合墙内的混凝土浇筑应符合下列规定：

- 1 混凝土宜采用自密实混凝土；
- 2 粗骨料粒径不应大于 20mm；
- 3 混凝土应采取减少收缩的技术措施；
- 4 浇筑前，应对钢板组合墙内已浇筑混凝土面进行剔凿处理，并清理剔凿物。
- 5 一次浇筑高度不宜大于 9m，当浇筑高度大于 9m 时，宜采取必要的辅助措施；
- 6 浇筑面和本节组合墙顶面的距离宜为 300mm~500mm；
- 7 混凝土浇筑完毕后，应对钢板组合墙顶部进行临时封闭；

**8** 最后一节钢板组合墙内混凝土浇筑完毕后，间隔 24 小时后应检查，当出现混凝土下沉时，应进行补浆。

**10.4.3** 钢板组合墙内混凝土的浇筑质量，可采用敲击法进行初步检查，当有异常，可采用超声波等方法进行检测。对浇筑不密实部位，可采用钻孔压浆法进行补浆，然后将钻孔进行补焊封固。钢板组合墙内混凝土的取样与试件留置应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定，并应符合下列规定：

**1** 每一钢板组合墙段、同一配合比的混凝土，取样不得少于一次；

**2** 当一节钢板组合墙段内混凝土用量超过 100m<sup>3</sup> 时，同配合比的混凝土每 100 m<sup>3</sup> 取样次数不得少于 1 次；

**3** 每次取样应至少留置一组标准养护试件，同条件养护试件的留置组数应根据实际需要确定。

# 11 质量验收

## 11.1 一般规定

**11.1.1** 钢板墙和钢板组合墙工程制作、安装的质量验收应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205、《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB50268、《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204、《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 的有关规定。

**11.1.2** 钢板墙和钢板组合墙工程可按钢结构及钢管混凝土结构制作工程检验批的划分原则，划分为一个或若干个检验批。各分项工程可按楼层或施工段划分为一个或若干个检验批。

## 11.2 原材料及成品进场

### I 主控项目

**11.2.1** 钢板、钢带、矩形管及焊接材料的品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准和设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量合格证明文件，中文标志及出厂检验报告等。

**11.2.2** 钢材和成品矩形钢管、冷弯薄壁型钢、型钢等进厂后，应按照国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定进行抽样复验。

检查数量：按照国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定频次。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

**11.2.3** 对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。

- 1 结构安全等级为一级的**重要建筑主体结构用钢材**；
- 2 结构安全等级为二级的**一般建筑**，当其结构跨度大于 60m 或高度大于 100m 时或承受动力荷载需要验算疲劳的**主体结构用钢材**；
- 3 板厚不小于 40mm，且设计有 Z 向性能要求的**厚板**；
- 4 强度等级大于或等于 420MPa 的**高强度钢材**；
- 5 进口钢材、混批钢材或质量证明文件不齐全的**钢材**；
- 6 设计文件或合同文件要求复验的**钢材**。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查复验报告。

**11.2.4** 钢结构采用的焊接材料应按照国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 及《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定进行抽样复验，复验结果应符合现行国家产品标准和设计要求。

检查数量：按照国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定频次。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

## II 一般项目

**11.2.5** 钢板和钢带的厚度及允许偏差应符合现行国家产品标准和设计要求。

检查数量：每批同一品种、规格的钢板抽检 10%，且不应少于 3 张，每张检测 3 处。

检验方法：用游标卡尺量测或超声波测厚仪量测。

**11.2.6** 开卷后钢带的宽度允许偏差为+2mm。

检查数量：每一品种、规格的钢板检测 5 处。

检验方法：钢尺量测。

**11.2.7** 钢板不平整度应符合其产品标准的要求。

检查数量：每一品种、规格的钢板抽检 10%，且不少于 3 张，每张检测 3 处。

检验方法：拉线、钢尺和游标卡尺。

**11.2.8** 矩形钢管、型钢、冷弯薄壁型钢的规格尺寸及允许偏差符合其产品标准的要求。

检查数量：每一品种、规格的钢管、型钢抽检 10%，且不少于 3 根，每根检测 3 处。

检验方法：用钢尺、游标卡尺及超声波测厚仪量测。

**11.2.9** 钢材的表面外观质量除应符合国家现行有关标准的规定外，尚应符合下列规定：

1 当钢材的表面有锈蚀、麻点或划痕等缺陷时，其深度不得大于该钢材厚度负允许偏差值的 1/2；

2 钢材表面的锈蚀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/T8923.1 规定的 C 级及 C 级以上；

3 钢材端边或断口处不应有分层、夹渣等缺陷。

检查数量：全数检查。

检验方法：尺量检查、观察检查。

## 11.3 构件加工工程

### I 主控项目

**11.3.1** 钢板墙和钢板组合墙构件加工外形尺寸的允许偏差应符合表 11.3.1 的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：用钢尺、直角尺、塞尺、拉线等检查。

**表 11.3.1 钢板墙和钢板组合墙构件外形尺寸主控项目的允许偏差**

项 目		允许偏差 (mm)	
钢板墙和钢板组合墙高度、宽度		±4.0	
钢板墙和钢板组合墙平面内对角线		±4.0	
钢板墙和钢板组合墙纵向、横向最外侧 安装孔距离		±3.0	
钢板墙和钢板组合墙连接处	截面几何尺寸	±3.0	
	平面度差	螺栓连接	±1.0
		其他连接	±3.0
钢板墙和钢板组合墙弯曲矢高	受压	h/1000, 且不应大于 10.0	

注：h 为单层墙的垂直高度。

**11.3.2** 钢板墙和钢板组合剪力墙部件拼接或对接时所采用的焊缝质量等级应满足设计要求。当设计无要求时,应采用质量等级不低于二级的熔透焊缝，对直接承受拉力的焊缝，应采用一级熔透焊缝。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查超声波探伤报告。

**11.3.3** 全熔透的一、二级焊缝应按照《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205、《钢结构焊接规范》GB50661、《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203 的要求进行无损检测，其结果应符合现行国家标准和设计要求。

检查数量：按规范要求执行。

检验方法：检查超声波探伤记录。

**11.3.4** T形接头、十字形接头、角接接头等要求焊透的对接与角接组合焊缝，其加强焊脚尺寸应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 的有关规定。

检查数量：资料全数检查；同类焊缝抽查 10%，且不应少于 3 条。

检验方法：观察检查，用焊缝量规抽查测量。

## II 一般项目

**11.3.5** 钢板墙和钢板组合剪力墙钢板拼接长度不应小于 1000mm，宽度不应小于 500mm，且单块钢板只允许一条拼接缝。钢板表面不得有凹凸不平、划痕等缺陷。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察和用钢尺检查。

**11.3.6** 钢板墙和钢板组合剪力墙构件外形尺寸一般项目的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205、现行行业标准《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 等国家、行业及地方相关标准的规定和设计要求。

检查数量：按钢构件数量抽查 10%，且不少于 3 件。

检验方法：用钢尺、直角尺、塞尺、拉线等检查。

**11.3.7** 钢板墙和钢板组合墙焊接连接组装尺寸的允许偏差应符合表 11.3.7 的规定。

表 11.3.7 焊接连接组装尺寸的允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	图例
对口错边 $\Delta$	$t/5$ ，且不应大于 3.0	
间隙 $a$	$\pm 1.0$	
搭接长度 $a$	$\pm 5.0$	
缝隙	1.5	

项目		允许偏差 (mm)	图例
高度 $h$		$\pm 2.0$	
垂直度		$b / 100$ , 且不应大于 3.0	
中心偏移 $e$		$\pm 2.0$	
型钢 错位	连接处	1.0	
	其他处	2.0	
箱形截面高度 $h$		$\pm 2.0$	
宽度 $b$		$\pm 2.0$	
垂直度 $\Delta$		$b/200$ , 且不应大于 3.0	

检查数量：按构件数抽查 10% 且不应少于 3 个。

检验方法：用钢尺检验。

**11.3.8** 钢板墙和钢板组合墙设计要求顶紧接触面应有 75% 以上的面积密贴，且边缘最大间隙不应大于 0.8mm。

检查数量：按接触面的数量抽查 10% 且不应少于 10 个。

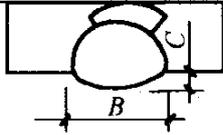
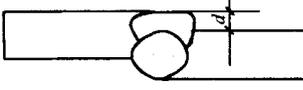
检验方法：用 0.3mm 塞尺检查，其塞入面积应小于 25%，边缘间隙最大间隙不应大于 0.8mm。

**11.3.9** 钢板墙和钢板组合墙焊缝尺寸允许偏差应符合表 11.3.9 的规定。

检查数量：每批同类构件抽查 10%，且不应少于 3 件；被抽查构件中，每种焊缝按条数各抽查 5%，但不应少于 1 条；每条检查 1 处，总抽查数不应少于 10 处。

检验方法：用焊缝量规检查。

表 11.3.9 对接焊缝及完全熔透组合焊缝尺寸允许偏差

序号	项目	图 例	允许偏差 (mm)	
1	对接焊缝 余高 C		一、二级	三级
			$B < 20$ : C 为 0~3.0 $B \geq 20$ : C 为 0~4.0	$B < 20$ : C 为 0~4.0 $B \geq 20$ : C 为
2	对接焊缝 错边 d		$d < 0.15t$ , 且 $\leq 2.0$	$d < 0.15t$ , 且 $\leq 3.0$

**11.3.10** 焊成凹形的角焊缝，焊缝金属与母材间应平缓过渡；加工成凹形的角焊缝，不得在其表面留下切痕。

检查数量:每批同类构件抽查 10%，且不应少于 3 件。

检验方法:用焊缝量规检查。

**11.3.11** 焊缝感观应达到：外形均匀、成型较好，焊道与焊道、焊道与基本金属间过渡较平滑，焊渣和飞溅物基本清除干净。

检查数量:每批同类构件抽查 10%，且不应少于 3 件；被抽查构件中，每种焊缝按数量各抽查 5%，总抽查处不应少于 5 处。

检验方法:观察检查。

## 11.4 安装和连接

### I 主控项目

**11.4.1** 钢板墙和钢板组合墙构件进场应验收，其加工制作质量应符合设计要求。

检查数量:按批次抽取 10%进行检查，并不少于 3 件。

检验方法:检查构件出厂验收记录、尺量检查、观察检查。

**11.4.2** 钢板墙和钢板组合墙构件进场应按安装工序配套核查构件、配件的数量。

检查数量：全数检查。

检验方法：清点构件、配件的数量。

**11.4.3** 钢板墙和钢板组合墙构件上的连接板、吊装耳板、加劲板、钢筋孔等的规格、位置和数量应符合设计要求。

检查数量：同批构件抽查 10%，并不少于 3 件。

检验方法：检查构件出厂验收记录、尺量检查、观察检查。

**11.4.4** 钢板墙和钢板组合墙安装允许偏差应符合表 11.4.4 的规定。

检查数量：按钢板组合墙数量抽查 10%，且不应少于 3 个单元。

检验方法：采用全站仪、激光经纬仪、水准仪和钢尺检查。

**表 11.4.4 钢板墙和钢板组合墙安装的允许偏差**

项 目	允许偏差 (mm)
定位轴线	1.0
单层垂直度	$h/1000$ ，且不应大于 10.0
单层上端水平度	$(L/1000) + 3$ ，且不应大于 10.0
平面外弯曲 (钢板墙 $t \geq 10\text{mm}$ )	$L(h)/1000$ ，且不应大于 10.0
平面外弯曲 (钢板组合墙 $t < 10\text{mm}$ )	$L(h)/300$ ，且不应大于 10.0

注：平面弯曲水平方向取钢板组合剪力墙的宽度  $L$ ，竖直方向取钢板组合剪力墙的垂直高度  $h$ 。

**11.4.5** 钢板墙和钢板组合墙结构主体结构整体垂直度和整体平面弯曲的允许偏差应符合表 11.4.5 的规定。

检查数量：对主要立面全部检查。对每个所检查的立面，除两列角部构件外，尚应至少选取一列中间构件。

检验方法：对于整体垂直度可采用全站仪、激光经纬仪、GPS 等测量，也可根据各节钢板组合墙构件的垂直度允许偏差累计计算。对于整体平面弯曲，可按产生的允许偏差累计计算。

**表 11.4.5 整体垂直度和整体平面弯曲的允许偏差**

项 目	允许偏差 (mm)
主体结构整体平面弯曲	(L/1000)，且不应大于 25.0
主体结构整体垂直度	H/2500+10，且不应大于 50.0

II 一般项目

**11.4.6** 钢板墙和钢板组合墙构件不应出现变形、脱漆等现象。

检查数量：按构件数抽查 10%，且不少于 3 件。

检验方法：尺量检查、观察检查。

**11.4.7** 安装后的钢板墙和钢板组合墙表面应干净，不得有明显的疤痕、泥沙和污垢等。

检查数量：按构件数抽查 10%，且不少于 3 件。

检验方法：观察检查。

**11.4.8** 钢板墙和钢板组合墙结构构件的中心线及标高基准点等标记应齐全。

检查数量：按数量抽查 10%，且不应少于 3 件。

检验方法：观察检查。

**11.4.9** 钢板墙和钢板组合墙结构总高度可按相对标高或设计标高进行控制，总高度的允许偏差应符合表 11.4.9 的规定。

检查数量：按标准钢板组合墙构件列数抽查 10%，且不应少于 4 列。

检验方法：采用全站仪、水准仪和钢尺实测。

**表 11.4.9 钢板墙和钢板组合墙结构主体总高度的允许偏差**

项 目	允许偏差 (mm)	
用相对标高控制安装	$\pm \Sigma (\Delta_h + \Delta_z + \Delta_w)$	
用设计标高控制安装	单层	H/1000)，且不应大于 20.0 -H/1000)，且不应大于 -20.0
	高度 60m 以下的 多层	H/1000)，且不应大于 30.0 -H/1000)，且不应大于 -30.0
	高度 60m 至 100m 的高层	H/1000)，且不应大于 50.0 -H/1000)，且不应大于 -50.0

项 目	允许偏差 (mm)	
用设计标高控制安装	高度 100m 以上的高层	H/1000), 且不应大于 100.0 -H/1000), 且不应大于 -100.0

## 11.5 钢板组合墙内混凝土工程

### I 主控项目

**11.5.1** 钢板组合墙内混凝土的强度等级应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查试件强度试验报告。

**11.5.2** 每节钢板组合墙内混凝土应连续浇筑，当必须间歇时，间歇的全部时间不应超过混凝土的初凝时间。

运输、浇筑及，同一施工段钢板组合墙内混凝土。当需要留置施工缝时应按专项施工方案留置。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

**11.5.3** 钢板组合墙内混凝土浇筑应密实。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查钢板组合墙内混凝土浇筑工艺试验报告和混凝土浇筑施工记录。

### II 一般项目

**11.5.4** 钢板组合墙内混凝土施工缝的设置应符合设计要求，当设计无要求时，应在专项施工方案中作出规定，且钢板组合墙对接焊口的钢管应高出混凝土浇筑施工缝面 300mm 以上，以防钢板组合墙焊接时高温影响腔内混凝土质量。施工缝处理应按专项施工方案进行。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

**11.5.5** 钢板组合墙内的混凝土浇筑方法及浇灌孔、溢浆孔、排气

孔的留置应符合专项施工方案要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

**11.5.6** 钢板组合墙内混凝土浇筑前，应对钢板组合墙安装质量检查确认，并应清理钢板组合墙内水及内壁污物；混凝土浇筑后应对管口进行临时封闭。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

**11.5.7** 钢板组合墙内混凝土浇筑后的养护方法和养护时间应符合专项施工方案要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工记录。

**11.5.8** 钢板组合墙内混凝土浇筑后，浇灌孔、顶升孔、排气孔应按设计要求封堵，表面应平整，并进行表面清理和防腐处理。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查。

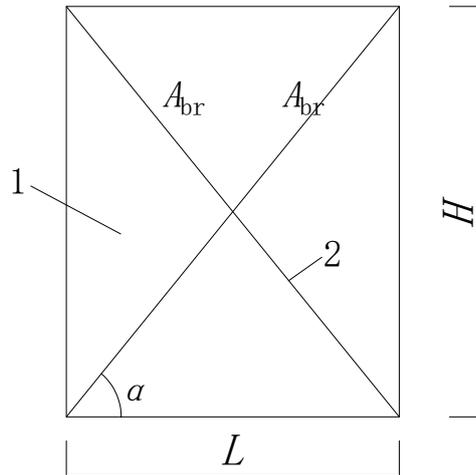
## 附录 A 钢板剪力墙等效支撑模型

**A.0.1** 弹性分析时，钢板剪力墙可按照刚度等效方法的方法采用等效钢支撑进行建模计算（图 A.0.1），单根支撑的等效面积采用下式计算：

$$A_{br} = \frac{b_s t_p}{5.2 \cos^2 \alpha \sin \alpha} \quad (\text{A.0.1})$$

式中： $b_s$ ——钢板剪力墙扣除柱截面高度后的宽度（mm）；

$\alpha$ ——等效支撑与水平线之间的夹角。



1—钢板剪力墙；2—等效支撑

图 A.0.1 钢板剪力墙等效支撑模型

**A.0.2** 弹塑性动力分析时对于设置加劲肋的钢板剪力墙，不利用其屈曲后强度时，其等效钢支撑可采用双线性弹塑性宏观本构关系，采用图 A.0.2 所示的轴力—轴向位移关系曲线，第二阶段的刚度可取初始刚度的 0.01~0.03，并应采用合适的滞回曲线模型。等效支撑的轴向刚度和轴向屈服承载力应按下列公式进行计算：

$$K_{eq} = \frac{G_s b_s t_p}{2l \cos^2 \alpha \sin \alpha} \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$N_t = \frac{0.5773 b_s t_p f_y}{2 \cos \alpha} \quad (\text{A.0.2-2})$$

$$N_c = \varphi'_s N_t \quad (\text{A.0.2-3})$$

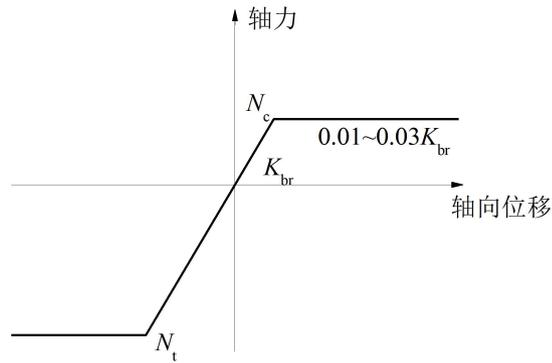


图 A.0.2 钢板剪力墙等效支撑轴力-轴向位移关系曲线

式中： $l$ ——等效支撑的长度（mm）；

$N_t$ ——等效钢支撑的受拉屈服承载力（N）；

$N_c$ ——等效钢支撑的受压屈曲承载力（N）；

$\varphi'_s$ ——钢板剪力墙扣除竖向重力荷载影响的剪切稳定系数，按照现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》附录 B 进行计算。

## 附录 B 材料非线性本构关系模型

**B.0.1** 钢板组合墙内核心混凝土的受压应力 ( $\sigma$ ) -应变 ( $\varepsilon$ ) 关系宜按下列公式计算:

$$y = \begin{cases} 2x - x^2 & (x \leq 1) \\ \frac{x}{\beta(x-1)^\eta + x} & (x > 1) \end{cases} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$x = \varepsilon/\varepsilon_0 \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$y = \sigma/\sigma_0 \quad (\text{B.0.1-3})$$

$$\sigma_0 = \left[ 1 + (-0.0135\xi^2 + 0.1\xi) \left( \frac{24}{f'_c} \right)^{0.45} \right] f'_c \quad (\text{B.0.1-4})$$

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{cc} + \left[ 1330 + 760 \left( \frac{f'_c}{24} - 1 \right) \xi^{0.2} \right] \quad (\text{B.0.1-5})$$

$$\varepsilon_{cc} = 1300 + 12.5 f'_c \quad (\text{B.0.1-6})$$

$$\eta = 1.6 + 1.5/x \quad (\text{B.0.1-7})$$

$$\beta = \begin{cases} \frac{(f'_c)^{0.1}}{1.35\sqrt{1+\xi}} & (\xi \leq 3.0) \\ \frac{(f'_c)^{0.1}}{1.35\sqrt{1+\xi}(\xi-2)^2} & (\xi > 3.0) \end{cases} \quad (\text{B.0.1-8})$$

$$\alpha = A_{cs}/A_{cc} \quad (\text{B.0.1-9})$$

$$\xi = A_{cs}f_y/A_{cc}f_{ck} \quad (\text{B.0.1-10})$$

式 (B.0.1-1) 的适用范围:  $\xi=0.6\sim 4.0$ ,  $f_y=235\text{MPa} \sim 420\text{MPa}$ ,  $f_{cu}=30\text{MPa} \sim 80\text{MPa}$ ,  $\alpha=0.03\sim 0.2$ , 组合墙单个腔体截面长边和短边之比为 1~2;

式中： $\alpha$ ——所计算的组合墙单个腔体截面含钢率；

$A_{cc}$ ——所计算的组合墙单个腔体内核心混凝土横截面面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$A_{cs}$ ——所计算的组合墙单个腔体内核心混凝土外围所包覆钢管的横截面面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$\xi$ ——钢管混凝土约束效应系数；

$f_c'$ ——混凝土圆柱体轴心抗压强度，与立方体强度、棱柱体强度可按表 B.0.1 的固定转换，中间值可进行线性差值。

**表 B.0.1 混凝土轴压强度不同表示值间的近似对应关系**

强度等级	C30	C40	C50	C60	C70	C80
$f_c'$ (MPa)	24	33	41	51	60	70
$f_{ck}$ (MPa)	20	26.8	33.5	41	48	56

**B.0.2** 钢板组合墙内核心混凝土的受拉应力 ( $\sigma$ ) -应变 ( $\varepsilon$ ) 关系宜按下式计算：

$$y = \begin{cases} 1.2x - 0.2x^6 & (x \leq 1) \\ \frac{x}{0.31\sigma_p^2(x-1)^{1.7}+x} & (x > 1) \end{cases} \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$x = \varepsilon_c / \varepsilon_p \quad (\text{B.0.2-2})$$

$$y = \sigma_c / \sigma_p \quad (\text{B.0.2-3})$$

$$\sigma_p = 0.26(1.25f_c')^{2/3} \quad (\text{B.0.2-4})$$

$$\varepsilon_p = 43.1\sigma_p(\mu\varepsilon) \quad (\text{B.0.2-5})$$

式中： $\sigma_p$ ——峰值拉应力 (MPa)；

$\varepsilon_p$ ——峰值拉应力时的应变。

**B.0.3** 钢板组合墙内核心混凝土的应力-应变滞回关系的加、卸载准则 (图 B.0.3) 宜满足下列要求：

## 1 受压卸载、再加载准则

1) 当压应变小于等于  $0.55\varepsilon_0$  时按弹性刚度加卸载；当应变大于  $0.55\varepsilon_0$  时，按“焦点法”计算加卸载路径，卸载至  $\sigma=0$  时的残余应变为  $\varepsilon_B$ ：

$$\varepsilon_B = \frac{\sigma_0\varepsilon_A - \sigma_A\varepsilon_1}{\sigma_0 + \sigma_A} \quad (\text{B.0.3-1})$$

式中：  $\varepsilon_1 = 0.5\varepsilon_0$ 。

卸载至 B 点再加载过程中 C 点的纵坐标值  $\sigma_C$  为：

$$\sigma_C = \frac{0.75\sigma_0}{0.75\varepsilon_1 + \varepsilon_B} (\varepsilon_A - \varepsilon_B) \quad (\text{B.0.3-2})$$

卸载过程中 D 点坐标值  $\varepsilon_D$  和  $\sigma_D$  的表达式分别为：

$$\varepsilon_D = (D_1\varepsilon_1 - D_2\varepsilon_B - \sigma_C) / (D_1 - D_2) \quad (\text{B.0.3-3})$$

$$\sigma_D = D_2(\varepsilon_D - \varepsilon_B) \quad (\text{B.0.3-4})$$

$$D_1 = (3\sigma_0 + \sigma_C) / (3\varepsilon_1 + \varepsilon_A) \quad (\text{B.0.3-5})$$

$$D_2 = 0.2\sigma_0 / (0.2\varepsilon_1 + \varepsilon_B) \quad (\text{B.0.3-6})$$

2) 自骨架线上卸载沿 D-B 进行，如卸载超过 B 点后再加载时，再加载线将沿折线 B-C-E 进行，E 为骨架线上应变等于  $1.15\varepsilon_A$  时对应的点。对于卸载至 B 点后再反向加载，当应变历史上出现的最大拉应变  $\varepsilon \leq \varepsilon_p$ ，即受拉混凝土尚未发生开裂时，则应力应变将沿直线 BF 发展， $F(\varepsilon_p, \sigma_p)$  为骨架线上峰值拉应力的对应点；当应变历史上出现的最大拉应变  $\varepsilon > \varepsilon_p$  时，则应力应变将沿直线 BG 发展， $G(\varepsilon_G, \sigma_G)$  为骨架线上最大拉应变的对应点。

## 2 受拉卸载、再加载准则

1) 当 $\varepsilon \leq \varepsilon_p$ 时, 按弹性刚度加卸载; 当 $\varepsilon > \varepsilon_p$ 时, 采用曲线方程来描述卸载、再加载路径。设自下降段上 G 点卸载, 考虑裂面效应, 卸载首先按直线卸至 H 点, H 点为开始产生裂面效应的起始点, 其应变值为:

$$\varepsilon_H = \sigma_G \left( 0.1 + \frac{0.9\varepsilon_0}{\varepsilon_0 + |\varepsilon_G|} \right) \quad (\text{B.0.3-5})$$

2) 当再加载至 I 点或 I' 点 (再加载曲线和应力轴的交点) 时, 对应 $\varepsilon=0$  的接触压应力 $\sigma_{\text{con}}$  为:

$$\sigma_{\text{con}} = 0.3\sigma_W \left( 2 + \frac{|\varepsilon_H|/\varepsilon_0 - 4}{|\varepsilon_H|/\varepsilon_0 + 2} \right) \quad (\text{B.0.3-6})$$

式中, 当应力应变历史上出现的最大压应变 $\varepsilon \leq \varepsilon_0$  时,  $\sigma_W = \sigma_0$ , 此时卸载、再加载沿 G-I-J 进行; 当最大压应变 $\varepsilon > \varepsilon_0$  时,  $\sigma_W = \sigma_A$ , 此时卸载、再加载沿 G-I'-C-E 进行。

3 以上描述的受拉卸载、再加载准则中的直线段方程按下列公式选用:

GI 和 GI' 段方程为:

$$\sigma = \sigma_{\text{con}} \left( 1 - \frac{2\varepsilon}{|\varepsilon_H| + \varepsilon} \right) \quad (\varepsilon_H \leq \varepsilon < 0) \quad (\text{B.0.3-7})$$

IJ 段方程为:

$$\sigma = \sigma_{\text{con}} \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right) + \frac{2\varepsilon}{\varepsilon_0 + \varepsilon} \sigma_0 \quad (0 \leq \varepsilon < \varepsilon_0) \quad (\text{B.0.3-8})$$

I'C 段方程为:

$$\sigma = \sigma_{\text{con}} \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_A} \right) + \frac{2\varepsilon}{\varepsilon_A + \varepsilon} \sigma_0 \quad (0 \leq \varepsilon < \varepsilon_A) \quad (\text{B.0.3-9})$$

如在 GI 曲线上任一点卸载, 则卸载路径为卸载点和 G 点的连线。

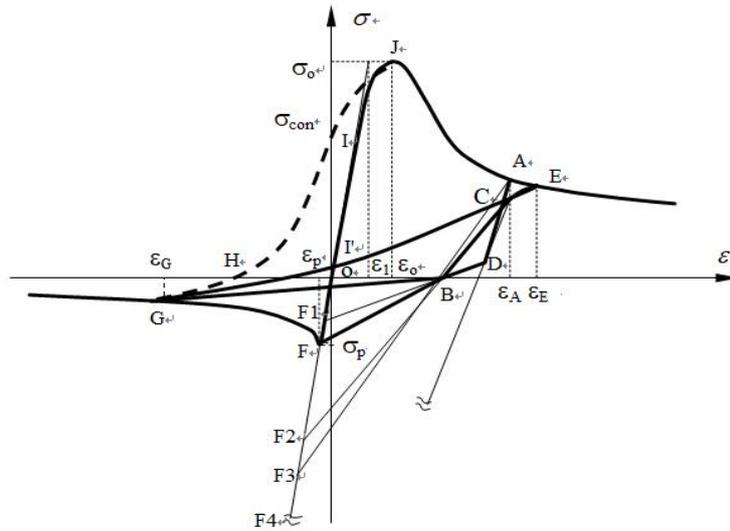


图 B.0.3 混凝土应力-应变滞回关系曲线示意图

**B.0.4** 钢材的应力-应变滞回关系的加、卸载准则（图 B.0.4）应符合下列要求：

1 单调加载的骨架线选用双折线模型，强化段的模量取值为  $0.01E_s$ ， $E_s$  为钢材的弹性模量。

2 当应变小于等于屈服应变  $\varepsilon_y$  时，按弹性刚度  $E_s$  加卸载；如果钢材在进入强化段 ab 前卸载，则不考虑 Bausinger 效应；反之，如果钢材在强化段 ab 卸载，则需考虑 Bausinger 效应。加、卸载过程中的软化段，软化段段 de 和 d'e' 的模量 ( $E_b$ ) 可按如下公式计算：

$$E_b = \begin{cases} \frac{f_y - |\sigma_d|}{|\varepsilon_d + \varepsilon_y|} & (1.65\varepsilon_y < |\varepsilon_d| \leq 6.11\varepsilon_y) \\ 0.01E_s & (|\varepsilon_d| > 6.11\varepsilon_y) \end{cases} \quad (\text{B.0.4-1})$$

式中， $\sigma_d$  和  $\varepsilon_d$  分别为软化段起始点 d 和 d' 点的应力和应变值。d 点和 d' 点分别位于与 ab 和 a'b' 线平行的直线上。当软化段与骨架线

相交时，继续按骨架线加载。

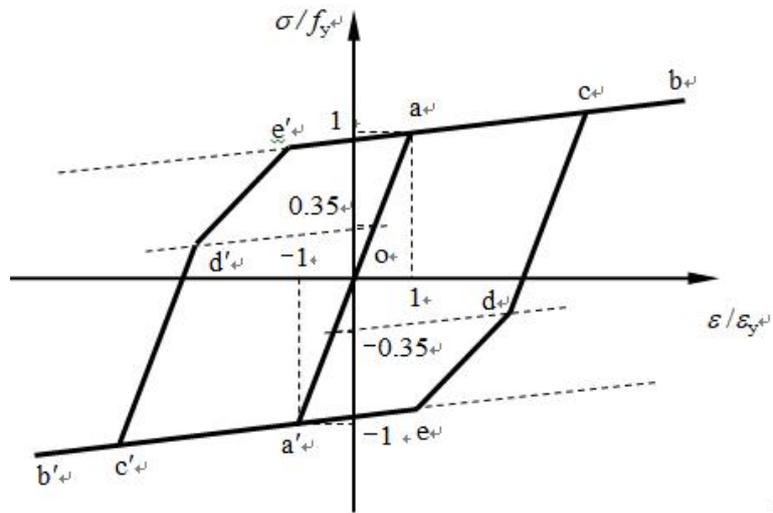


图 B.0.4 钢材的应力-应变关系模型示意图

**B.0.5** 不符合 B.0.1 中公式适用范围时，混凝土材料的本构关系可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。

## 附录 C 钢板墙和钢板组合墙构件损伤评价

**C.0.1** 钢板墙和钢板组合墙构件的损伤评价，可采用基于材料应变的评价，也可采用基于构件变形的评价。

**C.0.2** 当采用基于材料应变的评价方法时，可按现行浙江省标准《建筑抗震性能化设计规程》DBJ 33/T 1318 的有关规定执行。

**C.0.3** 钢板墙和钢板组合墙构件的损伤等级可根据弹塑性分析计算得到的构件变形按表 C.0.3 确定。

表 C.0.3 钢板墙和钢板组合墙构件基于变形的地震损坏等级判别标准

损伤等级	损伤程度	判别标准
1 级	无损坏	$\theta \leq \theta_y$
2 级	轻微损坏	$\theta_y < \theta \leq \theta_{10}$
3 级	轻度损坏	$\theta_{10} < \theta \leq \theta_p$
4 级	中度损坏	$\theta_p < \theta \leq \theta_{LS}$
5 级	比较严重损坏	$\theta_{LS} < \theta \leq \theta_u$
6 级	严重损坏	$\theta > \theta_u$

注：对于钢板墙， $\theta$ 为钢板墙的平均剪应变；对于钢板组合墙， $\theta$ 为层间位移角。

**C.0.4** 钢板墙构件的变形指标限值可按表 C.0.4 确定。

表 C.0.4 钢板墙地震损坏等级判别参数取值

特征点	非加劲钢板剪力墙	加劲或防屈曲钢板剪力墙
$\theta_{10}$	$1.25 \theta_y$	$1.5 \theta_y$
$\theta_p$	$3 \theta_y$	$4 \theta_y$
$\theta_{LS}$	$6 \theta_y$	$8 \theta_y$
$\theta_u$	$10 \theta_y$	$12 \theta_y$

**C.0.5** 对于压弯破坏的钢板组合墙构件，其弯矩-转角（ $M-\theta$ ）关系曲线可采用图 C.0.5 所示的三折线，各特征点的参数取值应符合下列规定：

- 1  $\theta_y$ 、 $\theta_p$ 和 $\theta_u$ 可按试验确定，或经试验验证的计算确定；
- 2 性能点 IO、LS 的转角应按下列公式进行计算：

$$\theta_{IO} = \theta_y + 0.5(\theta_p - \theta_y) \quad (C.0.5-1)$$

$$\theta_{LS} = \theta_p + 0.5(\theta_u - \theta_p) \quad (C.0.5-2)$$

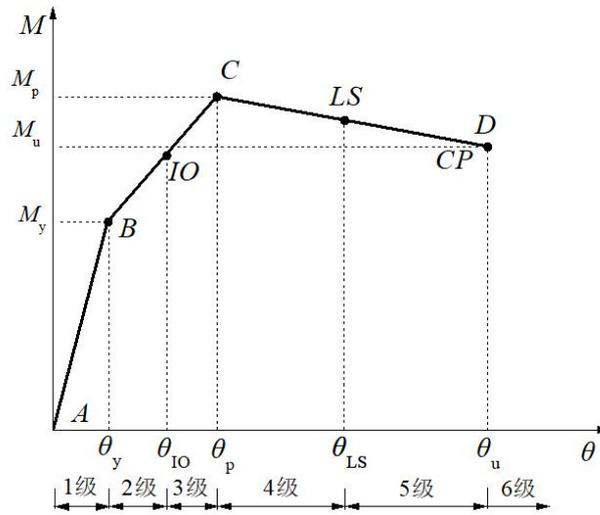


图 C.0.5 压弯破坏的钢板组合墙构件地震损坏等级与其转角的关系

## 本标准用词说明

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，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

- 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB 50018
- 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
- 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 《建筑工程抗震设防分类标准》 GB 50223
- 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》 GB50268
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB50300
- 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 《钢结构工程施工规范》 GB 50755
- 《钢管混凝土结构技术规范》 GB 50936
- 《建筑钢结构防火技术规范》 GB 51249
- 《工程结构通用规范》 GB 55001
- 《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002
- 《钢结构通用规范》 GB 55006
- 《混凝土结构通用规范》 GB 55008
- 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 《涂料产品分类和命名》 GB/T 2705

《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

《建筑构件耐火试验方法 第 1 部分：通用要求》GB/T 9978.1

《建筑构件耐火试验方法 第 4 部分：承重垂直分隔构件的特殊要求》GB/T 9978.4

《建筑构件耐火试验方法 第 5 部分：承重水平分隔构件的特殊要求》GB/T 9978.5

《建筑构件耐火试验方法 第 6 部分：梁的特殊要求》GB/T 9978.6

《建筑构件耐火试验方法 第 7 部分：柱的特殊要求》GB/T 9978.7

《钢结构防火涂料》GB 14907

《建筑结构用钢板》GB/T 19879

《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3

《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82

《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99

《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104

《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251

《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283

《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380

《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441

《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178

《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203

《富锌底漆》HG/T 3668

《建筑抗震性能化设计规程》DBJ 33/T 1318

浙江省工程建设标准

# 钢板墙和钢板组合墙技术规程

Technical specification for steel plate wall and steel plate and  
concrete composite wall structures

DB 33/T 12xx—20xx

条文说明

# 目 次

2	术语和符号	117
2.1	术 语	117
3	基本规定	119
3.1	一般规定	119
3.2	材料	119
3.3	结构布置	120
3.4	结构变形和舒适度验算	120
3.5	构件承载力设计	121
3.6	结构计算分析	121
4	非加劲钢板墙	124
4.1	一般规定	124
4.2	非加劲钢板墙的承载力计算	124
5	加劲钢板墙	126
5.2	承载力计算	126
6	防屈曲钢板墙	129
6.2	承载力计算	129
7	钢板组合墙	130
7.1	一般规定	130
7.2	一字形钢板组合墙的强度计算	134
7.3	钢板组合墙的稳定计算	135
7.4	构造要求	139
8	连接与节点	141
8.4	钢板组合墙墙脚节点	141
9	钢结构防护	142
9.1	抗火设计	142
9.2	防腐蚀设计	142
附录 A	钢板剪力墙等效支撑模型	144
附录 C	钢板墙和钢板组合墙构件损伤评价	145

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

**2.1.8~2.1.12** 国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中的钢板剪力墙通常按不承受竖向荷载来进行设计，本规程中的钢板墙可按承受竖向荷载设计，在第 4 章~第 6 章中给出了考虑承受竖向荷载的钢板墙设计方法。第 2.1.8~2.1.12 条的结构体系示意图如下列各图所示。

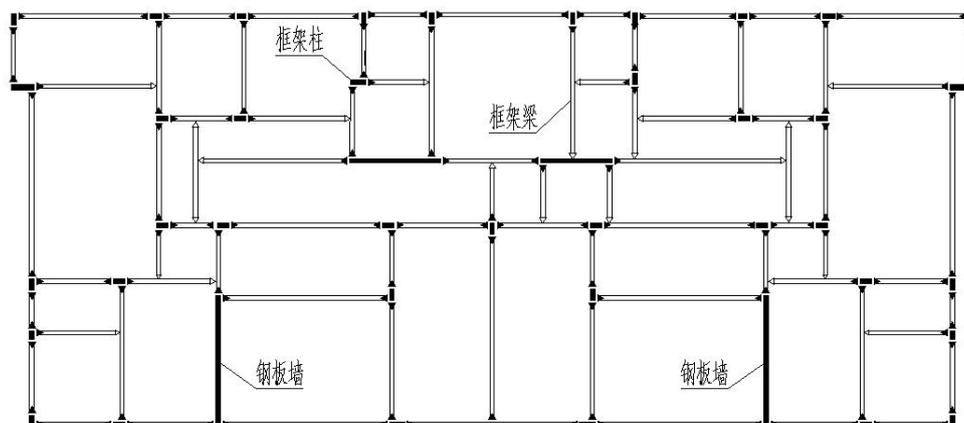


图 1 钢框架-钢板墙结构

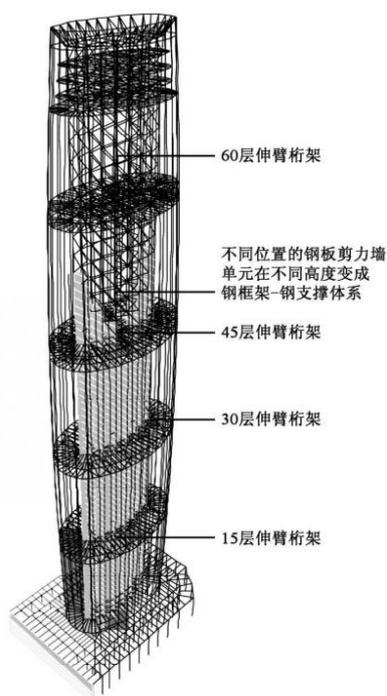


图 2 钢框架-钢板墙核心筒结构

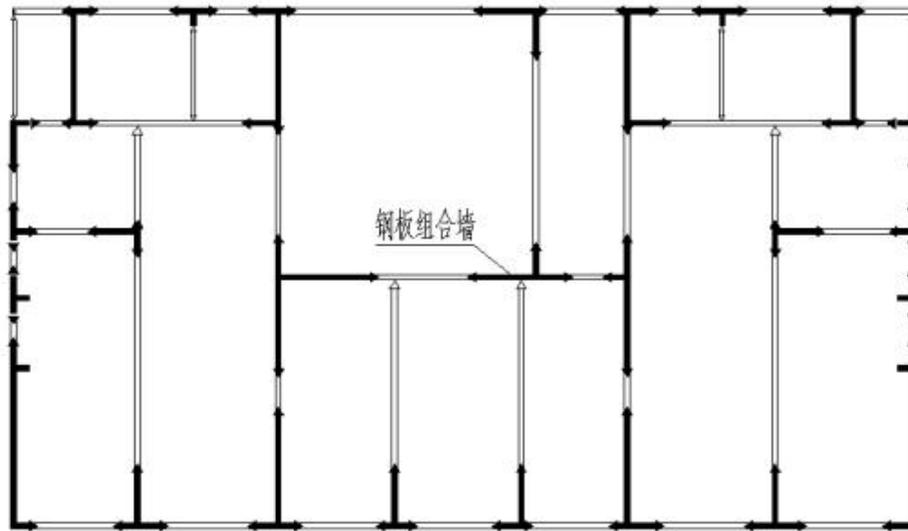


图3 钢板组合墙结构

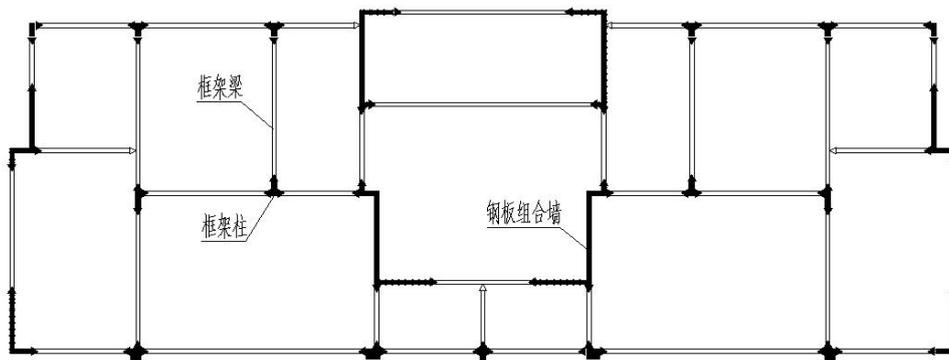


图4 钢框架-钢板组合墙结构

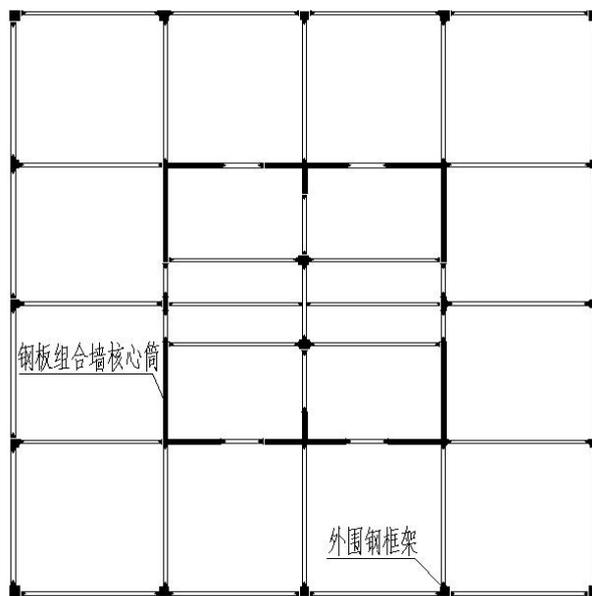


图5 钢框架-钢板组合墙核心筒结构

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 钢板墙包括非加劲钢板墙、加劲钢板墙、防屈曲钢板墙，是多高层钢结构中常用的抗侧力构件形式。钢板组合墙包括封闭多腔钢管混凝土组合墙、点状拉结双钢板组合墙，是一种新型的受力构件，在工程中已得到越来越多的应用。

**3.1.3** 框架-钢板剪力墙结构属于钢框架-延性墙板体系的一种形式，参照《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 有关最大适用高度的相关规定。由钢板组合墙组成的剪力墙结构、框架-剪力墙结构、框架-核心筒等结构体系的最大适用高度主要参照国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 等标准制定。

**3.1.4** 高层民用建筑的高宽比，是对结构刚度、整体稳定、承载力和经济合理性的宏观控制。在结构设计满足承载力、稳定、抗倾覆、变形和舒适度等基本要求后，仅从结构安全角度讲高宽比不是必须满足的，主要影响结构设计的经济性。本条基于实际工程项目经验参照现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》对于高宽比限值进行了规定。

**3.1.6** 钢框架-钢板墙结构的抗震等级为与《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 相协调，应符合《建筑抗震设计规范》GB50011 第 8.1.3 条有关钢结构抗震等级的规定。抗震等级的划分，体现了对不同抗震设防烈度、不同结构类型、不同烈度、同一烈度但不同高度的结构延性要求不同。按抗震设计等能量的概念，由于钢板组合墙延性高于混凝土剪力墙延性，其抗震等级可适当降低。

### 3.2 材料

**3.2.5~3.2.7** 钢板组合墙腔内混凝土强度等级不应低于 C30 级。混

凝土强度等级、力学性能和质量标准应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 执行。采用普通混凝土时，应采取适当振捣措施。自密实混凝土的配合比设计、施工、质量检验和验收应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的规定。混凝土强度等级与钢材强度等级的匹配关系是：Q235 与 C30,C35,C40 匹配,套箍系数大于等于 0.75 时可以与 C50 匹配；Q355 与 C30,C40,C50 匹配，套箍系数大于等于 0.75 时可以与 C60 匹配。

### 3.3 结构布置

**3.3.2** 当钢板墙区格过高或者过宽时，需要通过在单一方向或双向设置中间构件将钢板墙分割成若干接近于方形的区隔，即为加劲钢板墙。

**3.3.3** 当钢板墙的一侧或两侧仅通过边缘竖向构件与框架梁相连时，钢板墙承受的剪力的竖向分力将通过梁传递至框架柱，因此需在梁柱节点设计时考虑钢板墙剪力竖向分力的作用。

**3.3.4** 实际工程中大量边框架的梁柱外边缘对齐放置，因此梁柱轴线不重合，此时内嵌钢板墙无法同时与框架梁柱同时居中放置。在这种情况下，钢板墙可相对于钢梁居中，与钢梁的腹板对齐。

### 3.4 结构变形和舒适度验算

**3.4.1~3.4.3** 通过收集国内外 42 片钢板组合剪力墙的抗震试验资料，试验构件屈服层间位移角主要分布在 1/110 到 1/275 之间，平均屈服层间位移角为 1/183。国内相关钢板组合墙试验结果同样与上述研究结果接近。结构体系的抗震性能除了竖向构件因素外，水平钢梁的影响也很大。通常情况下，当竖向结构为钢结构时，结构体系采用钢筋混凝土梁时，其弹性层间位移角限制参照钢筋混凝土结构并适当放松；当采用钢-混凝土组合梁时，其弹性层间位移角参照纯钢结构并适当加严。

钢框架-钢板墙(核心筒)结构的弹性和弹塑性层间位移角取值均与《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99相协调。

根据建筑功能和荷载工况的不同,对钢板组合墙结构体系的弹性层间位移角限值进行了区分。对于住宅建筑,考虑到居住的舒适性要求,且风荷载为常遇工况,此时相应的弹性层间位移角取1/400;对于其他建筑,风荷载下的弹性层间位移角取1/300,以上数值均参照纯钢结构进行了适当加严。在钢板组合墙结构中,竖向构件均采用钢梁进行连接,因此多遇地震作用下,住宅建筑和其他建筑的弹性层间位移角分别取1/300和1/250。罕遇地震作用下,钢板组合墙结构的弹塑性层间位移角限值取1/70,也比纯钢结构更为严格。

另外,当风荷载作用和地震作用都较小的地区,除了结构的计算层间位移角满足要求,还应注意控制结构刚度不能过小。一般建议结构第一自振周期不超过 $0.5\sqrt{H}$ ,其中 $H$ 为结构主屋面的高度。

### 3.5 构件承载力设计

**3.5.1** 公式(3.5.1-1)中的 $\gamma_0 S$ ,公式(3.5.1-2)中的 $S$ 在本规程各章中用内力设计值 $N$ 、 $M$ 、 $V$ 等表达。

### 3.6 结构计算分析

**3.6.4** 采用其他非承重墙体时,可根据工程情况确定周期折减系数。在结构承载力和刚度计算时不应计入非结构构件的有利作用。

**3.6.8** 根据斜拉力场分析模型,可得剪切模量约为 $0.65G$ ,考虑锚固梁柱的变形,综合考虑取 $0.6G$ ;采用板壳单元时,应保证墙体的刚度不影响整个结构的梁柱构件的内力,充分保证竖向构件的承载能力。采用等代交叉支撑模拟方法时,此时应注意分析模型中,斜支撑构件由于变形协调承担的竖向荷载。

**3.6.9** 刚度参数是指如下物理矩阵的各元素:

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{xx} & B_{xy} & 0 \\ B_{xy} & B_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & G_{xy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma \end{Bmatrix} \quad (1)$$

波幅方向的拉压刚度折减系数 $\beta$ 的计算公式是

$$\beta = \frac{(a+b)t_{\text{wall}}^2}{3(a+d/3)c^2} \quad (2)$$

式(2)中的 $a, b, c, d$ 各尺寸示意图6,  $a$ 是平板部分平均宽度(mm)。

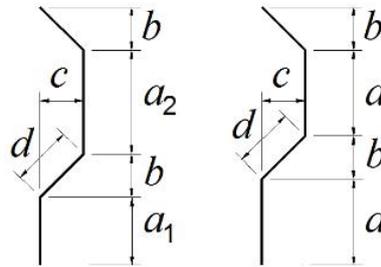


图6 波形钢板尺寸示意

**3.6.10** 现行国家、行业标准对于钢-混凝土组合构件的计算刚度均取钢部分的刚度与混凝土部分的刚度之和, 本标准亦采用相同原则。

**3.6.12** 不同地震倾覆力矩占比下的框架设计规定, 可按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的相关规定执行。

**3.6.14** 结构底部墙肢在罕遇地震作用下可能出现塑性铰, 为保证钢板组合墙底部出现塑性铰后具有足够大的延性, 对此部位适当加强。本条与现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关规定保持一致。并通过下列抗震措施, 进一步加强该区域:

1 调整底部加强部位的墙肢剪力, 以进一步提高抗剪切破坏的能力;

2 对一级墙肢非加强区增加弯矩调整要求, 以进一步保证塑性铰出现在底部加强区。

**3.6.17** 钢框架-钢板墙结构的阻尼比参照《建筑抗震设计规范》钢结构阻尼比相关规定。钢板组合墙结构多遇地震下结构阻尼比借

鉴现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 中钢管混凝土框架-支撑结构阻尼比的取值，并增加《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定对于不小于 200m 时明确取值为 0.02。

风荷载作用下，结构的塑性变形比设防地震作用下的小，故抗风设计时的阻尼比应比抗震设计时为小。同时，采用的风荷载回归期越短，其阻尼比取值越小。一般情况下风荷载作用时，混合结构的阻尼比可取为 0.02~0.04；有填充墙的钢结构房屋阻尼比可取 0.02。钢板组合墙结构主要抗侧刚度来自钢板组合剪力墙，风荷载作用下，其阻尼比应比混合结构小，且应比地震作用下的阻尼比小，但不小于有填充墙的钢结构房屋。综合以上因素，参照《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定，风荷载作用下楼层位移验算和构件设计时，钢板墙和钢板组合墙结构的阻尼比可取为 0.01~0.02，有填充墙时取大值。验算风振舒适度时，参照《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 的规定，阻尼比宜取 0.01~0.015。

## 4 非加劲钢板墙

### 4.1 一般规定

**4.1.2** 非加劲钢板墙轴向受力性能差，应防止墙体在重力荷载下发生屈曲。需要说明的是，当钢板墙的竖向荷载过大时，钢板墙与边缘框架之间会发生内力重分布，因此并不会发生类似于单块板的明显的卸载和平面外屈曲变形。

**4.1.4** 钢板墙由于宽度大，因此相对于边缘框架柱截面面积可能很大。对于弯曲型结构来说，考虑钢板墙承受竖向荷载可能导致边缘框架柱的轴力大幅减小。因此，为了将钢板剪力墙的竖向拉、压荷载传递至基础，需要钢板墙底部提供足够的锚固措施。对于某些工业建筑或构架，波形钢板墙作为外墙板同时承受风荷载等面外荷载的作用。

### 4.2 非加劲钢板墙的承载力计算

**4.2.2** 当边缘构件的有效约束刚度能够满足 4.2.2 条规定时，可认为边缘构件对钢板剪力墙能够提供充分的锚固作用，钢板剪力墙能够充分发展拉力场。

**4.2.3** 当边缘柱的有效约束不能满足本规程式 (4.2.2-1) 时，可认为未加劲钢板墙的拉力场仅在上下层钢梁之间区域形成 (图 7b)，简称钢梁锚固拉力场。

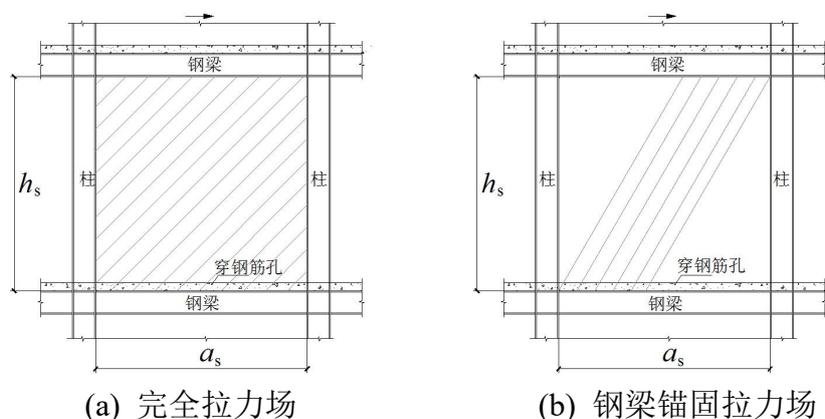


图 7 钢板墙的拉力场

**4.2.8** 如果这个分量导致钢梁加大，可以在靠近钢梁处布置双侧水平加劲肋，与工字钢梁一起构成王字型截面的钢梁。

**4.2.9** 竖向加劲肋在轴压力下应验算平面外弯曲稳定性，稳定系数按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的 b 曲线进行计算，截面特性考虑加劲肋两侧剪力墙各  $15\varepsilon_k t_p$  的有效宽度。

非加劲钢板墙的设计方法有两类：一是充分利用拉力场的方法，此时钢板墙实际上是密排的斜拉板条支撑，墙板水平抗剪承载力是钢板的剪切屈服强度的 0.866 倍，抗剪承载力非常高。但是对周边构件也提出了要求，例如钢板墙与钢管边长的中间连接，如图 4.2.4(a)，斜拉力场会促使钢管壁板弯曲，影响轴压荷载下的局部稳定和竖向承载力，壁板变形释放了拉力场，抗剪承载力得不到发挥，因此要求钢管内由 T 形加劲肋对斜拉力场提供锚固作用。考虑到本规程主要面对住宅类采用钢结构，构件截面小，无法焊接 T 形肋，因此本规程允许锚固于钢柱的拉力场释放，采用的是类似薄腹板钢梁的方法(薄腹板钢梁的上下翼缘也不能对拉力场提供充分锚固)，有限度利用屈曲后强度，只对钢梁提出锚固拉力场的要求要求。

**4.2.10** 当满足这一条件时，结构的承载能力由连梁控制，剪力墙的承载力不控制，1.2 为超强系数。

## 5 加劲钢板墙

### 5.2 承载力计算

**5.2.2** 允许竖向加劲肋承担竖向力，则竖向加劲肋没有门槛刚度，只要不停地施加竖向压力，总会使加劲肋和钢板墙发生整体弹塑性屈曲，所以关键是验算受压钢板墙的弹塑性承载力。

加劲钢板墙的整体墙面可能是窄的，也可能是宽的。宽矮的加劲钢板墙受压屈曲类似压杆屈曲，而窄的加劲钢板墙有可观的屈曲后强度，有可能是板件对竖向加劲肋起支承作用。常规加劲钢板墙的性能介于两者之间，墙体承载力需要在压杆的承载力和板件屈曲后承载力之间进行插值。

加劲肋进入弹塑性屈曲，钢板墙小区格可能已经进入屈曲后阶段，问题变得相对复杂，因为需要知道小区格板的有效宽度，而小区格板有效宽度范围内的应力必然是与加劲肋承受的应力一致。

这样，按照压杆计算的加劲钢板剪力墙的平均稳定系数的方法是：

1) 建模阶段要输入板厚  $t_{\text{model}}$ ；

2) 内力分析，得到竖向应力；

3) 布置加劲肋，使宽高比  $\alpha_{\text{sp}} = \frac{a_{\text{sp}}}{h_s} \leq 1$ ，可取  $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ ，确定竖向加

劲肋的数量  $n_v$ ；

4) 初选板厚  $t_p = 0.7t_{\text{model}}$  左右；

5) 加劲肋面积  $A_s = \frac{a_s(t_{\text{model}} - t_p)}{n_v}$ ，加劲肋板厚  $t_s$  与钢板墙相同或更

薄一点；确定  $t_s$ ；计算单侧闭口加劲肋的宽度  $b_s = \frac{A_s}{3t_s}$ 。 $b_s$  应大于 50，

小于 100，超出 100 的应注意墙的总厚度会过大。第 4、5 步可以循环，按照第 5 步确定的加劲肋小了，可以减小  $t_p$ ，把更多钢材放在加劲肋上。

6) 计算加劲肋的截面性质，以单侧闭口加劲肋为例：

$$A_e = (2\beta t_p + d_s)t_p + 2b_s t_s + d_s t_s \quad (3)$$

$$y_0 = \frac{d_s t_s b_s + b_s^2 t_s}{A} \quad (4)$$

$$I_{sy} = (2\beta t_p + d_s)t_p y_0^2 + \frac{2}{3}t_s [y_0^3 + (b_s - y_0)^3] + d_s t_s (b_s - y_0)^2 \quad (5)$$

$$i_y = \sqrt{I_{sy} / A_e} \quad (6)$$

$$\lambda = h_s / i_y \quad (7)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{E / f_y}} \quad (8)$$

7) 计算稳定系数  $\rho_g$ ，计算  $\lambda_c$ ，在双侧对称加劲肋的情况下，有效宽度系数  $\beta$  计算公式中的长细比可以采用下式：

$$\lambda_{sp,\sigma} = \sqrt{\frac{\sigma_{cs}}{\sigma_{sp,e}}} \quad (9)$$

因为  $\sigma_{cs}$  事先不知道，实际上需要迭代计算，如果不想迭代，则偏安全取式(5.2.2-11)计算。

8) 按正交异性板件计算整体屈曲的弹性临界应力以及屈曲后强度系数，插值得到加劲板件的屈曲系数  $\phi_{sp}$ 。式(5.2.2-17)中的  $I_{sy}$  可以大于  $I_{sy,oth}$ ，计算得到的临界应力可以大于小区格屈曲的临界应力。

单侧加劲肋柱子曲线较低，是因为单侧加劲肋带来的压力偏心，相当于偏心加大了，稳定系数减小。

加劲钢板墙的小区格的验算公式，各项均采用了屈曲后强度，

这与整块的未加劲钢板墙不同，这是因为，整体稳定承载力满足后，加劲肋不会屈曲，小区格的屈曲后变形不会大，所以可以利用屈曲后强度。其中  $I_y$  称为竖向加劲肋的有效惯性矩，这个有效惯性矩才是用于帮助提供剪切屈曲强度的。

**5.2.4** 规定水平加劲肋的门槛刚度限值，是为了在压力弯矩和剪切力的作用下，钢板发生屈曲时水平加劲肋基本不出现屈曲变形。提出这个要求，一方面为了简化计算条文，二是中间刚性的水平加劲肋有利于保证两个边框柱的性能，例如减小拉力场的不利影响。横向加劲肋采用开口截面，是为了竖肋和横肋交汇处焊接方便。承载力计算都在一级板块上完成，本条第 4、5、6 款只需要保证横向加劲肋的刚度。

当水平加劲肋的惯性矩不满足第 5 款要求时，可忽略横向加劲肋作用，通过加大竖向肋，或钢板墙加厚，使钢板墙的承载力满足要求。

## 6 防屈曲钢板墙

### 6.2 承载力计算

**6.2.1** 本条采用平行梁系的理论解放大 1.5 倍确定对水平肋的加劲刚度要求，当区格较窄时引入板的双向作用折减系数，即式中的双曲正切函数。

式(6.2.1)表明，剪力墙区格宽度 $a_x$ 增加，对水平肋的刚度要求迅速增加，因此，小区格的宽度不能大，因为要控制加劲肋的总宽度小于墙体厚度。试算表明，设置一道水平肋时预制混凝土板才需要计算配筋，2道或3道水平加劲肋时，预制板跨度小，构造配筋即可。水平加劲肋间距 $a_y$ 越小，对加劲肋的刚度要求越大，类比压杆的支撑设置问题，若压杆越短，对侧向支撑的要求越高，所以不建议设置太多道水平加劲肋，水平加劲肋的上下间距控制在1m以内比较好，以住宅层高3000mm， $a_y$ 取(3000-350梁高-100楼板)/3=2550/3=850mm比较合适，所以住宅标准层可以统一规定设置两道水平肋。

**6.2.2** 竖向加劲肋要能够完全替代钢板墙的竖向承载力，即：

$$\frac{\pi^2 EI_{sv}}{h_s^2} \geq a_x t f_y \quad (10)$$

取安全系数2，由上式即可以得到式(6.2.2)。

为了控制墙厚，竖向加劲肋应与水平加劲肋同样高度，可以调节翼缘宽度和板件厚度使得惯性矩满足要求。

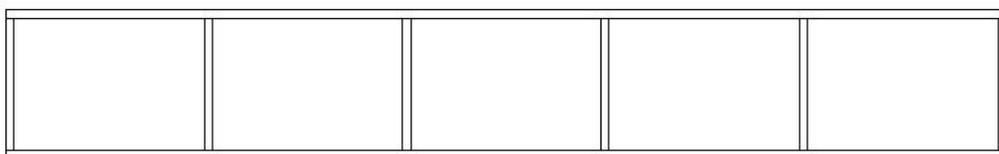
**6.2.3** 本条参照防屈曲支撑的有关规定制定。配筋量与上下水平加劲肋的间距关系最大，计算表明，850mm时已经是构造配筋。1300mm时配筋也不大。

**6.2.5** 本条参照防屈曲支撑的有关规定制定。

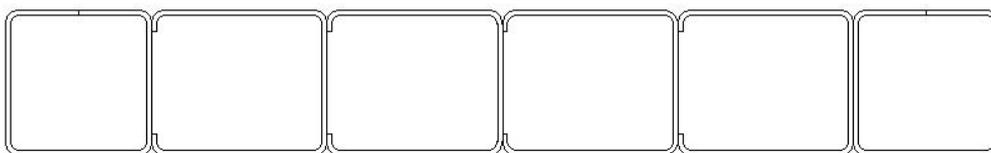
## 7 钢板组合墙

### 7.1 一般规定

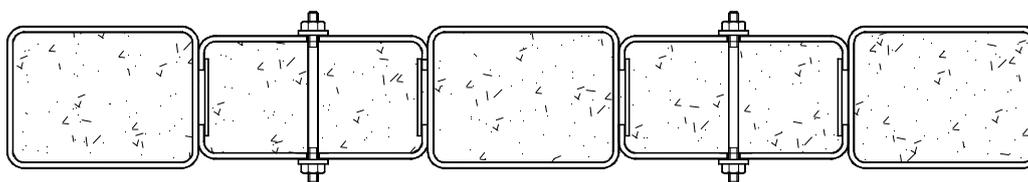
**7.1.2** 封闭多腔钢管混凝土组合剪力墙其截面组合形式较为灵活。多腔钢管墙可由矩形钢管、H型钢、U型钢或窄翼缘槽钢等冷弯薄壁型钢组件焊接形成若干个封闭腔，也可通过由纵向连续的连接件（钢隔板、L型、C型拉结件等）将双钢板之间分割形成若干个封闭腔体，随后在各腔内填混凝土，形成由多个钢管混凝土腔构成的剪力墙构件。为限制各腔室钢板的局部屈曲，可采用设置对穿螺栓连接，腔室内设置加劲肋、栓钉等构造方式。为满足建筑功能需要，各钢管混凝土腔的长度和宽度也可不同，但应满足本规程钢管腔壁板宽厚比限值的相关规定。图8给出了几种典型的钢板组合墙构件形式。



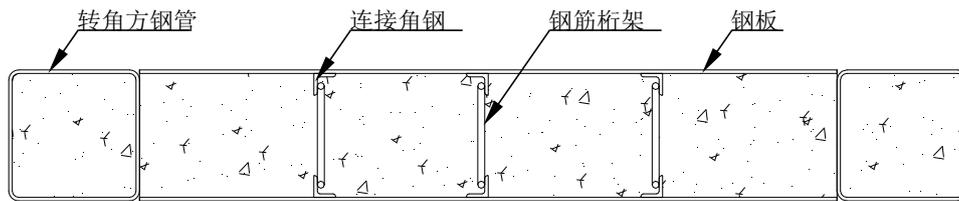
(a) 由外侧钢板和内部分隔肋组成的钢板组合墙



(b) 由冷弯薄壁型钢组成的钢板组合墙



(c) 由矩形钢管和窄翼缘冷弯薄壁槽钢与对穿螺栓组成的钢板组合墙



(d) 由外侧钢板与钢筋桁架组成的钢板组合墙

图 8 钢板组合墙形式示例

7.1.3 钢板组合墙单个空腔截面最大边尺寸不小于 800mm 时，实际使用的钢板厚度不小于 16mm，可以采用在钢管腔内壁上焊接栓钉等措施以确保钢与混凝土共同作用。

7.1.4 点状拉结双面钢板内填混凝土构成的钢-混凝土组合墙，应使钢板能够发挥其屈服强度。点阵支承板件有两种屈曲模式，一种是板式屈曲：以竖向的两列螺栓作为支承边，纵向屈曲成多个半波，临界应力记为  $\sigma_{cr,p}$ ；另一种是两行水平螺栓为边界，发生柱式屈曲，临界应力记为  $\sigma_{cr,c}$ 。

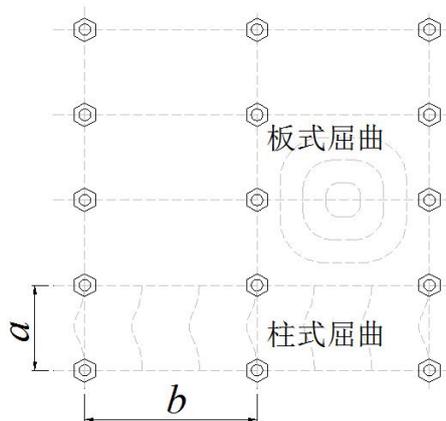


图 9 矩形点阵支承板件的屈曲

内填混凝土的双钢板墙，由于混凝土的阻挡，面板只能向外鼓曲，按照柱式屈曲，计算长度系数是 0.5，即纵向螺栓间距为  $a$ ，外层板厚为  $t$ ，临界应力由下式计算：

$$\sigma_{cr,c} = \frac{4\pi^2 Et^2}{12(1-\mu_s^2)a^2} \quad (11)$$

式中  $E, \mu_s$  是钢板的弹性模量和泊桑比，记屈服强度为  $f_y$ 。正则化长细比由下式计算：

$$\lambda_{nc} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{3(1-\mu_s^2)f_y}{E}} \cdot \frac{a}{t} \quad (12)$$

将  $a/t=20$ ,  $f_y=235\text{MPa}$ ,  $E=206000\text{MPa}$ ,  $\mu_s=0.3$  代入得到  $\lambda_n=0.355$  (长细比为 33), 按照柱子曲线 a 计算的钢板受压稳定系数是 0.957, 即其竖向抗压承载力已经达不到钢材屈服强度, 但是离屈服强度距离刚好不到 5%, 因此  $a=20\varepsilon_k t$ ,  $\varepsilon_k=\sqrt{235/f_y}$  是可以接受的最大竖向拉结间距。实际上, 钢材达到屈服强度时, 依据平截面假定, 混凝土也基本达到了其强度峰值, 混凝土已经膨胀, 对钢板形成水平挤压, 面板承受了板弯矩。

板式屈曲的临界应力由下式计算:

$$\sigma_{cr,p} = \frac{10.10\pi^2 E t^2}{12(1-\mu_s^2)b^2} \quad (13)$$

式中  $b$  是两纵列螺栓之间的间距。

根据计算板件有效宽度的 Winter 公式, 板件屈曲的弹塑性承载力达到屈服强度对应的最大正则化宽厚比是  $\lambda_{n,p} = \sqrt{f_y/\sigma_{cr,p}} = 0.673\varepsilon_k$ ,  $\varepsilon_k = \sqrt{235/f_y}$ , 取  $E = 206000\text{MPa}$ , 从  $0.673\varepsilon_k$  可以得到板件能够达到屈服强度的宽厚比限值是  $60.2\varepsilon_k$ , 因此方钢管混凝土壁板宽厚比被限制在  $60\varepsilon_k$ 。

因为柱式屈曲没有屈曲后强度, 缺陷敏感性更高, 临界应力  $\sigma_{cr,c}$  应大于板式屈曲临界应力  $\sigma_{cr,p}$  的 1.5 倍以避免柱式屈曲先于板式屈曲, 因此可得到下式:

$$\frac{a}{b} \leq \sqrt{\frac{4}{1.5 \times 10.10}} = 0.4975 \quad (14)$$

因为  $b$  的限值是  $60\varepsilon_k$ , 上下螺栓间距  $a$  纵列螺栓间距应小于  $0.4975 \times 60\varepsilon_k t = 29.85\varepsilon_k t$ , 上下间距限制在  $20\varepsilon_k t$ , 满足式(14)的要求。

菱形布置时, 此时出现第 3 种屈曲的可能性: 区格  $2a \times 2b$  的短矩形区格的板式屈曲 2, 按照四边固支计算, 临界应力为:

$$\sigma_{cr,p2} = \left[ 4 \left( \frac{b^2}{a^2} + \frac{a^2}{b^2} \right) + 2.10 \right] \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\mu_s^2)(2b)^2} \quad (15)$$

因为  $a < b$ , 式(15)方括号中的屈曲系数最大的贡献来自第 1 项, 例如在  $a/b=0.5$  时, 屈曲系数是 19.10, 而第 1 项的贡献是 16,  $a/b=1/3$  时第 1 项的占比更是达到 93%。这个第 1 项对应于计算长度为  $a$  的柱式屈曲, 因为单独拿出这一项, 屈曲应力是式(11)的 1/4。柱式屈曲这部分是没有屈曲后强度的。因此, 采用菱形区格布置后, 板式屈曲 2 的屈曲后性能远不如板式屈曲 1 的屈曲后性能, 这要求:  $\sigma_{cr,p2} \geq 1.5\sigma_{cr,p}$ , 将式(15)和式(13)代入得到:

$$a \leq 0.2621b \quad (16)$$

因为  $b/t \leq 60\varepsilon_k$  是必须满足的限值, 式(16)要求  $a \leq 15.726\varepsilon_k t$ 。因为图 10 的  $2a$  与图 9 中的  $a$  都是同一列上下螺栓的间距,  $2a = 31.45\varepsilon_k t > 20\varepsilon_k t$ , 采用菱形布置可以少 40%—50%的螺栓, 因而有一定的优势, 但增加了管理成本。

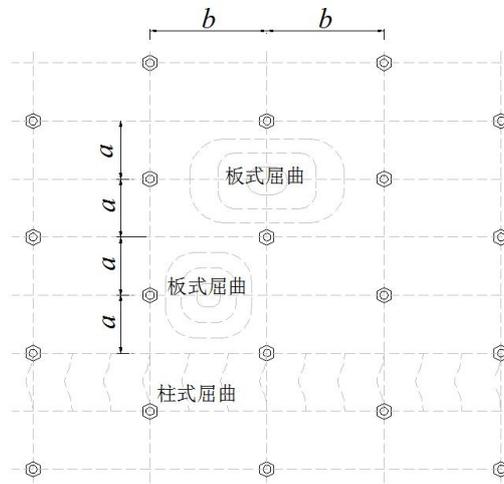


图 10 菱形点阵支承板件的屈曲

**7.1.6** 按 130mm 厚的钢板组合墙与一、二级钢筋混凝土剪力厚度不宜小于层高的 1/20 的稳定性要求接近的原则, 确定钢板组合墙构造厚度要求。

**7.1.7** 根据理论分析和混凝土剪力墙设计经验, 异形截面墙可拆分为一字形墙肢分别进行验算。纤维模型计算表明, L 形、T 形钢

板组合墙若按拆分墙肢计算，仅当各肢应力比同时接近于 1 时，才会比按异形截面整体直接计算偏不安全，这种情况在实际工程中基本不会出现。

## 7.2 一字形钢板组合墙的强度计算

**7.2.2** 本条给出了端部未加强时钢板组合墙的简化计算公式。当设有端柱或端部加强时，只有弯矩作用时的平面内受弯承载力设计值  $M_{ux}$  可按下列方法和原则计算：

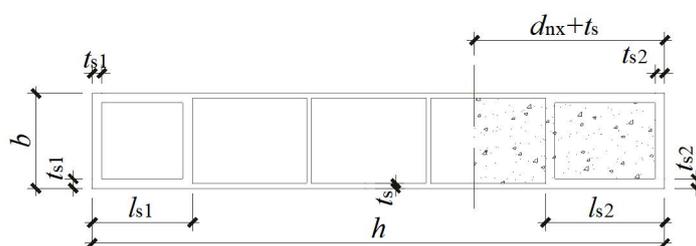


图 11 端部加强时组合墙计算截面和图示

**1** 将墙截面划分为有限个混凝土单元和钢材单元，假定中和轴位置，依据中和轴将截面划分为受压区和受拉区；

**2** 取受压区混凝土单元达到抗压强度设计值  $f_c$ ，受压区钢材单元达到抗压强度设计值  $f$ ，受拉区钢材单元达到抗压强度设计值  $f$ ，不考虑受拉区混凝土强度；

**3** 根据截面轴力为 0 的条件确定中和轴位置，并积分得到  $M_{ux}$ 。

**7.2.3** 弯矩作用在一字形多腔钢管混凝土组合墙平面内压弯构件的强度，可以根据极限状态理论进行分析。

假定钢管壁和内部竖向分腔板应力达到屈服点，受压区混凝土应力达到极限强度，受拉区混凝土退出工作，不考虑混凝土的抗拉强度。由极限理论可推导出多腔钢管混凝土组合墙压弯构件的  $N-M$  相关公式。该式为二次函数，曲线呈抛物线型。

将该公式与现行行业标准《钢板剪力墙技术规程》JGJ/T 380 和《组合结构设计规范》JGJ 138 相近公式计算结果及实际试验承载力比较发现，本公式计算结果也偏于安全。

根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关要求，对于钢管腔有开孔削弱处的墙肢应分别验算毛截面处和开孔处的强度。对开孔处，应按净截面面积计算，钢材抗弯强度设计值取  $0.7f_u$ 。

**7.2.5** 墙肢受剪承载力仅考虑与受力方向一致的钢板受剪承载力，不考虑混凝土的抗剪承载力。同时，参照欧洲规范 Eurocode 4 将剪力设计值控制在截面受剪承载力的 50% 以内，不需要考虑弯剪耦合作用。本规程参照该规范取剪力设计值控制在截面受剪承载力的 60% 以内。

### 7.3 钢板组合墙的稳定计算

**7.3.1** 为加强对多腔钢管混凝土组合墙的要求，未采用板的稳定理论，直接采用杆的稳定理论考虑一字形组合墙的稳定承载力。同时，为进一步简化计算，偏安全的取等效弯矩系数  $\beta_{mx}$  为 1.0。 $\beta_{mx} = 1$  时绘制的稳定包络曲线如图 5 所示，与文献上通过有限元计算得到的曲线吻合。

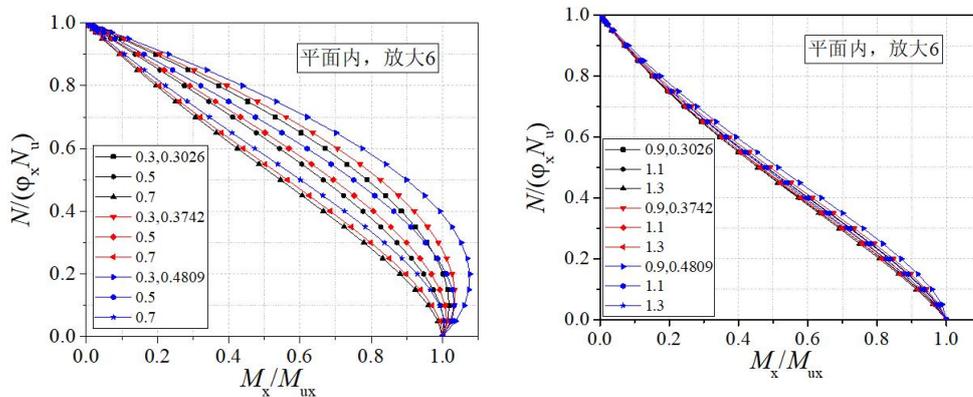


图 12 平面内稳定公式解与有限元计算对比

**7.3.2** 一字形钢板组合墙平面外稳定的轴力和弯矩相关关系和式 (7.3.2-1)、式(7.3.2-2)的对比如下所示：

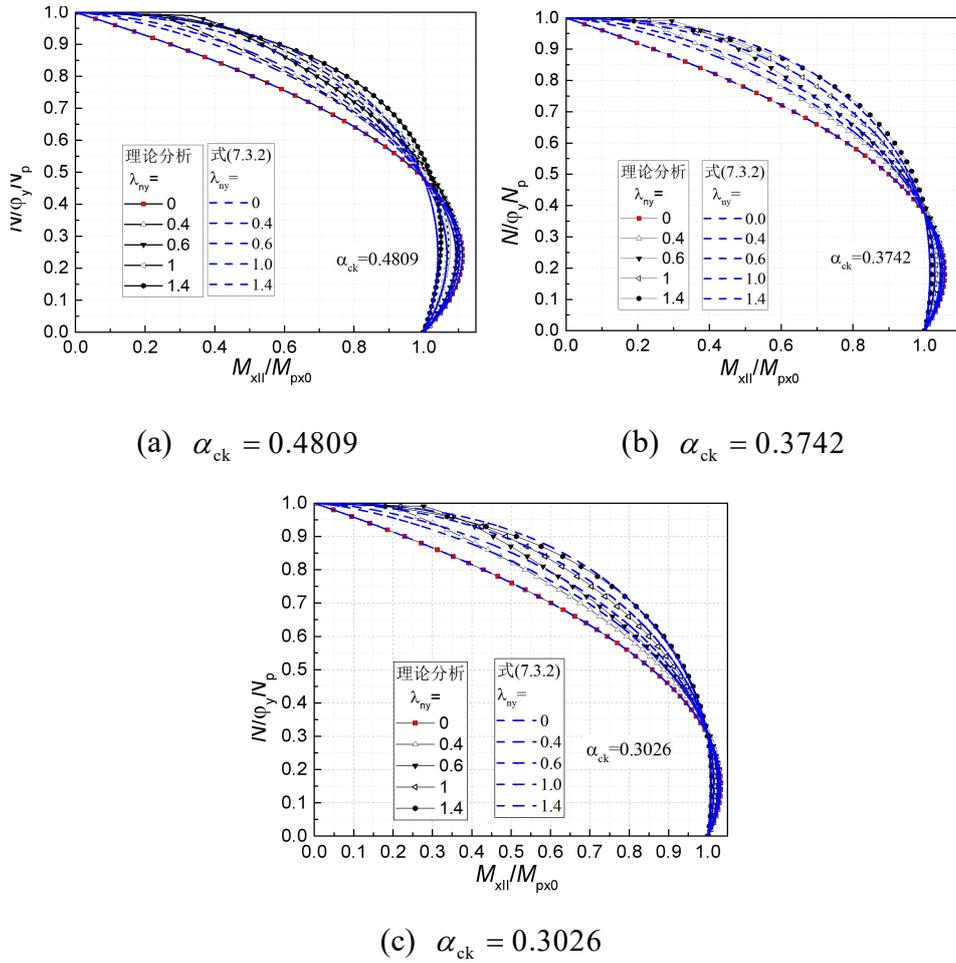


图 13 平面外稳定公式解与有限元计算对比

7.3.3~7.3.4 利用数值方法进行多参数分析，得到墙肢轴力与面外挠度曲线，其中面外挠度指墙肢中心点的面外位移。根据该曲线的极值点即可得到墙肢的弹塑性稳定承载力  $N_{max}$ 。由于缺乏截面残余应力分布的资料，计算时不考虑残余应力，通过引入初弯曲为 1/500 墙高来考虑。记稳定系数  $\varphi = N_{max}/N_u$ ，可得一字形钢板组合墙的  $\varphi - \lambda_0$  关系如图 14 所示：

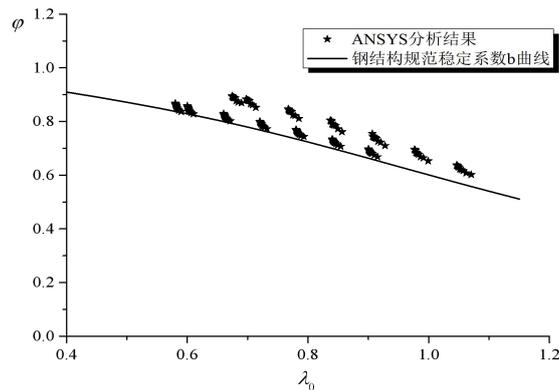


图 14 一字形钢板组合墙的  $\varphi - \lambda_0$  关系

计算模型的稳定系数高于现行国家标准《钢结构技术标准》GB 50017 中的  $b$  类曲线。因此，一字形钢板组合墙构件的轴心受压稳定系数采用  $b$  类曲线。

对单一材料的截面，回转半径只是一个几何形状和尺寸的有关几何量。但是，复合材料就不相同，需考虑钢管和混凝土的共同工作问题。按照欧拉荷载相等的原则，可得到当量回转半径。

**7.3.7~7.3.8 L 形、T 形、[形、H 形等异形截面的各片墙肢可相互起支承作用。**多腔钢管混凝土组合墙的截面宽度较大，面内稳定系数很大，因此其稳定承载力与强度承载力接近。计算墙肢面内稳定时，为进一步简化计算，不考虑各墙肢相互作用，均按一字形墙体计算考虑。

平面外稳定分析时，各墙肢相互支承作用较大，不可忽略。在忽略多腔钢管混凝土组合竖向横隔板作用的前提下，根据各墙肢边界条件，按正交板屈曲理论计算稳定性，可得到四边、三边简支板临界荷载。

考虑几何非线性、材料非线性和初始几何缺陷的影响，初始几何缺陷采用弹性屈曲分析得到的一阶屈曲波形的形式，缺陷幅值取  $1/500$ ，利用数值分析方法进行了弹塑性稳定分析。将分析得到稳定系数和正则化宽厚比绘制成如下图 15 和图 16 所示。从中可看出：随着  $\lambda_p$  的增大，稳定系数逐渐减小。初始缺陷的大小对墙体弹塑性稳定承载力有一定的影响，随着缺陷的增大，相同  $\lambda_p$

的墙肢稳定承载力有所降低。采用欧洲钢结构协会提出的弹塑性稳定系数：

$$\varphi_p = 1 / (1 + \lambda_p^{2n})^{\frac{1}{n}} \quad (17)$$

为达到一定长细比下稳定系数等于 1 的目的，公式可转化为：

$$\varphi_p = 1 / (1 - \lambda_{b0}^{2n} + \lambda_p^{2n})^{\frac{1}{n}} \quad (18)$$

四边支承时取 $\lambda_{b0}=0.55$ ， $n=1.8$ ，三边支承时 $\lambda_{b0}=0.45$ ， $n=1.65$ 。曲线与有限元分析的曲线对比如图 15 和图 16 所示，从稳定曲线图上可知，本规程提出的稳定计算公式远小于有限元分析结果，也小于 winter 公式。

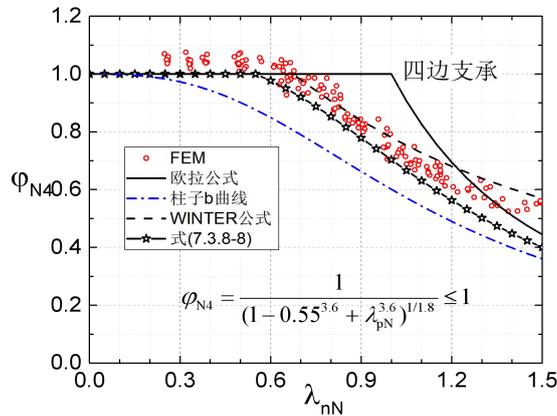


图 15 四边简支时 $\varphi_p$ - $\lambda_p$ 关系曲线

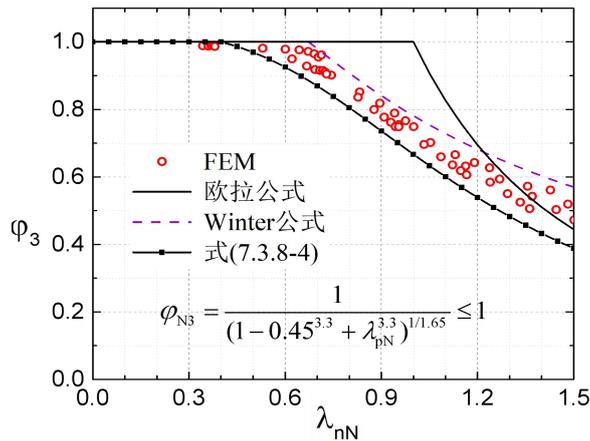
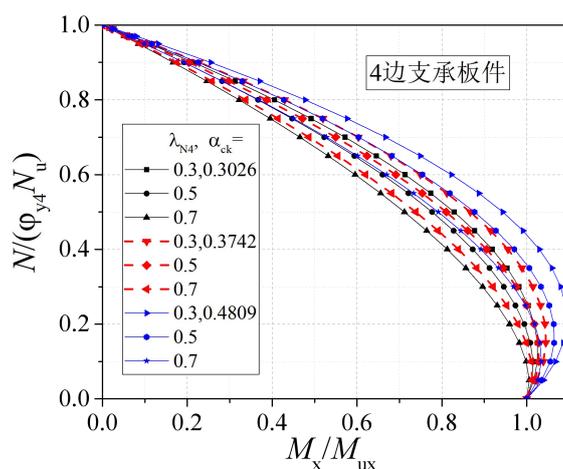
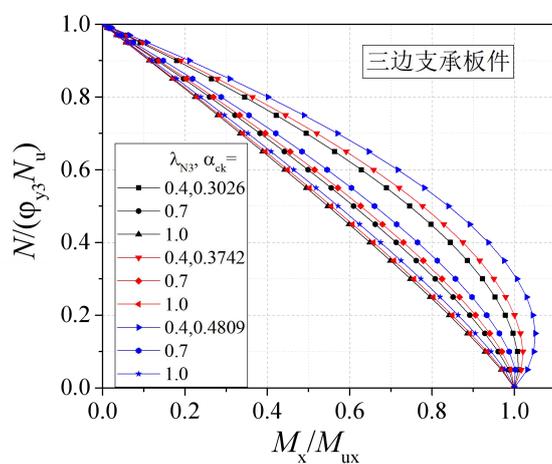


图 16 三边简支时 $\varphi_p$ - $\lambda_p$ 关系曲线

三边简支和四边简支墙体纯弯时的稳定系数为 1.0,即不会发生弯扭失稳。压弯时的相关关系曲线见图 17。



(a) 四边支承板



(b) 三边支承板

图 17 墙肢压弯相关关系

## 7.4 构造要求

**7.4.1** 作为墙肢支承边的翼墙或端柱，其自身在平面内的稳定性应有保障，当 $\lambda_0$ 不大于 0.215 时，其稳定系数大于 0.97。端柱的边长与墙肢厚度之比的下限，参照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 第 7.2.15 条对钢筋混凝土剪力墙端柱的要求。本条中两个条件均应满足，一般情况下计算高度为一个楼层高度的墙体满足条件 2 就自然满足条件 1，但是穿层墙体还需要按照条件 1 进行复核。

**7.4.2** 轴压比是影响组合墙在地震作用下塑性变形能力的重要因

素。试验表明，相同轴压比的情况下，多腔钢管混凝土组合墙的延性要远好于普通混凝土剪力墙。本条对现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的混凝土剪力墙轴压比限值进行了适当放松，给出了多腔钢管混凝土组合墙的轴压比限值。

**7.4.3** 为保证多腔钢管混凝土组合墙具有较好的延性。根据相关研究成果，采用限制混凝土工作承担系数的方法来保证抗震墙的延性。

**7.4.4** 为了保证一字形钢板组合墙的抗震性能，进一步减小轴压比限值，并要求其长细比达到现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的二级框架柱要求。

**7.4.5** 边缘腔是指钢板组合墙构件最边缘的端部钢管。例如一字形墙体两端的两个钢管、L 形墙体端部的两个钢管，T 形墙体端部的三个钢管。

**7.4.8** 统计了不同壁板厚度的上千条焊缝数据显示：在钢板弯角半径为  $3t$  ( $t$  为壁板厚度) 的情况下，焊缝表面宽度与焊缝熔深有一定关系。当  $t=4\text{mm}$  或  $5\text{mm}$  时，焊缝面宽不小于  $t$  即可达到熔深不小于壁板厚度；当  $t=6\text{mm}$  或  $8\text{mm}$  时，焊缝面宽不小于板厚减去  $1\text{mm}$  即可达到熔深不小于壁板厚度，焊缝表面宽度可以作为辅助检查指标。

**7.4.9** 本条对洞口面积和洞口间距、边距的规定参照了钢筋混凝土剪力墙的开孔要求，并适当从严。

## 8 连接与节点

### 8.4 钢板组合墙墙脚节点

**8.4.5** 倒 T 型牛腿设置，上层钢筋与牛腿上盖板连接，即可保证基础上层钢筋的连续，也可提高墙对基础的抗冲切能力。抗拔角钢根据抗弯、抗拔验算设置。抗拔角钢可兼做施工阶段临时支撑，为保证其稳定性，可增加侧向及斜向约束。

## 9 钢结构防护

### 9.1 抗火设计

**9.1.1** 承担竖向荷载的构件，宜满足柱的耐火极限要求。当构件设计为不承受竖向荷载时，耐火极限可按梁的要求取值。

**9.1.2** 当构件防火设计需要通过试验验证时，耐火试验应符合现行国家标准《建筑构件耐火试验方法 第1部分：通用要求》GB/T 9978.1、《建筑构件耐火试验方法 第4部分：承重垂直分隔构件的特殊要求》GB/T 9978.4、《建筑构件耐火试验方法 第5部分：承重水平分隔构件的特殊要求》GB/T 9978.5、《建筑构件耐火试验方法 第6部分：梁的特殊要求》GB/T 9978.6、《建筑构件耐火试验方法 第7部分：柱的特殊要求》GB/T 9978.7的有关规定。

**9.1.3** 不燃材料可采用混凝土、金属网抹砂浆、加气混凝土砌块、轻质混凝土、石膏基防火浆料、岩棉板等隔热材料。

### 9.2 防腐蚀设计

**9.2.1** 如果参照欧洲的标准，室内构件表面的处理，一般达到 Sa2 级即可，暴露在外面空气中的构件，则为 Sa 2½级。

**9.2.4** 通常情况下防腐蚀保护层中的面涂层主要遮蔽日光对涂层的破坏、装饰功能和密封等作用。采用防火涂料、水泥砂浆、砌筑砌体（以界面层贴附在钢结构构件表面时）等材料进行防火保护时，可与钢结构构件表面紧紧包裹在一起，密封性能良好，可以达到面涂层的功能，因此可不涂刷面涂料。

**9.2.5** 地下室容易漏水，南方地区雷雨天气前后常常墙面或地面产生大量冷凝水，因此防腐蚀保护层最小厚度不宜减少。

**9.2.6** 卫生间、厨房属于经常用水房间，且漏水现场时有发生，应设置不少于三道的防腐蚀防线。第一道为防腐蚀涂层设计，第二道为水泥砂浆防火层，水泥砂浆厚度不小于 30mm。第三道为在

水泥砂浆表面做建筑防水层。通常情况下，卫生间水泥砂浆表面还存在瓷砖装饰层保护。

为防止墙根处积水或漏水，应设置素混凝土翻边。虽然卫生间的钢梁位于吊顶上部，但卫生间水蒸气较多，钢梁表面容易承受冷凝水。因此宜防水砂浆进一步保护，特别是采用防火涂料、柔性防火材料等孔隙率较大的防火保护层，外层应采用防水砂浆包覆。

**9.2.9** 增加漆膜厚度和预留腐蚀裕量均是有效提高防腐蚀性能的措施，可选择使用。

## 附录 A 钢板剪力墙等效支撑模型

**A.0.1** 弹性分析中, 交叉钢支撑的抗侧刚度为:

$$K = \frac{2EA_{br} \cos^2 \alpha \sin \alpha}{H} \quad (19)$$

$$S_{brace} = KH = 2EA_{br} \cos^2 \alpha \sin \alpha \quad (20)$$

钢板墙的水平截面抗剪刚度为:

$$S_{shear-wall} = G_s b_s t_p \quad (21)$$

令两者相等, 并取钢材泊松比 0.3, 得到钢板墙按抗侧刚度等效的支撑面积, 即 (A.0.1-1) 式。

**A.0.2** 现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 附录 B.6 中, 给出了允许利用屈曲后强度和不利用屈曲后强度两种情况下钢板剪力墙的平均剪应力和平均剪应变关系曲线。本条偏安全地考虑钢板墙不利用屈曲后强度情况, 按照刚度和承载力等效的原则, 给出了等效支撑的轴向位移和轴力关系曲线。

## 附录 C 钢板墙和钢板组合墙构件损伤评价

**C.0.4** 钢板剪力墙参照国外相关资料，对于加劲和防屈曲钢板剪力墙，取 $\theta_{IO}=1.5\theta_y$ ， $\theta_{LS}=8\theta_y$ ， $\theta_{cp}=12\theta_y$ 。在此基础上，非加劲钢板剪力墙考虑适当加严。

**C.0.5** 根据钢管束组合剪力墙和对穿螺栓多腔钢管组合墙抗震性能试验，观察试件试验过程和滞回曲线，封闭多腔钢管混凝土组合剪力墙试件在水平力的作用下经历弹性上升、弹塑性上升和破坏退化三个阶段，并最终达到破坏。试验结果见表 1 和表 2。

表 1 一字形钢管束组合剪力墙抗震性能试验结果

试件	加载方向	$\theta_p/\theta_y$	$\theta_w/\theta_y$
YZQ-1	正向	2.04	3.44
	负向	2.27	4.00
YZQ-2	正向	2.06	2.41
	负向	1.95	2.05
YZQ-3	正向	2.39	3.28
	负向	2.30	3.70
YZQ-4	正向	2.71	3.83
	负向	2.48	3.45
YZQ-5	正向	1.97	2.46
	负向	1.52	2.18
YZQ-6	正向	2.16	3.43
	负向	1.71	2.66
YZQ-7	正向	2.33	3.50
	正向	1.78	2.71
平均值		2.12	3.08

表 2 一字形对穿螺栓多腔钢管组合墙抗震性能试验结果

试件	加载方向	$\theta_p/\theta_y$	$\theta_u/\theta_y$
GHQ-1	正向	2.25	2.67
	负向	2.15	2.59
GHQ-2	正向	2.03	2.64
	负向	1.90	2.49
GHQ-3	正向	1.89	2.49
	负向	1.77	2.20
GHQ-4	正向	1.79	2.74
	负向	1.78	2.32
GHQ-5	正向	2.27	3.22
	负向	2.68	3.26
GHQ-6	正向	2.86	3.40
	负向	2.39	3.29
GHQ-7	正向	2.33	3.25
	正向	2.31	3.36
平均值		2.17	2.85

因此，当无试验数据时，对于一字形封闭多腔钢板组合墙的参数可取  $\theta_p=2\theta_y$ ， $\theta_u=2.8\theta_y$ ，插值计算后得到 $\theta_{IO}=1.5\theta_y$ 、 $\theta_{LS}=2.4\theta_y$ 。