

中国工程建设标准化协会标准

矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构
技术规程

**Technical Specification for Structure with Steel Tubular-
Steel Corrugated Plate Composite Shear Walls**

（征求意见稿）

2022 年 6 月

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2021 年第一批协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字[2021]011 号）的要求，规程编制组在广泛调查研究的基础上制定本规程。

本规程共 10 章，主要内容包括：总则，术语和符号，材料，基本规定，结构计算，构件设计，节点设计，防护设计，制作和安装，验收。

本规程的某些内容涉及专利。涉及发明专利（或实用新型专利）的具体技术问题，使用者可直接与本规程主编单位协商处理。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会轻型钢结构专业委员会归口管理，由同济大学负责解释。在使用中如发现需要修改和补充之处，请将意见和资料径寄解释单位（地址：上海市杨浦区四平路 1239 号同济大学，邮政编码：200092）。

主 编 单 位： 同济大学

参编单位（未排序）： 安徽富煌钢构股份有限公司

上海同济绿建土建结构预制装配化工程技术有限公司

浙江佳源建筑设计有限公司

杭萧钢构（河北）建设有限公司

华东建筑设计研究院有限公司

同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司

中国建筑第二工程局有限公司

中国建筑第八工程局有限公司

中能建装配式建筑产业发展有限公司

上海宝冶集团有限公司

上海二十冶建设有限公司
上海欧本钢结构有限公司
上海三湘装饰设计有限公司

主 要 起 草 人 :

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.....	- 2 -
3	材料	- 5 -
3.1	一般规定	- 5 -
3.2	钢材.....	- 5 -
3.3	连接材料	- 5 -
3.4	混凝土	- 6 -
4	基本规定	- 7 -
4.1	一般规定	- 7 -
4.2	结构体系及结构构件类型	- 7 -
4.3	选型要求	- 12 -
4.4	抗震等级	- 13 -
4.5	水平位移限制和舒适度要求	- 14 -
4.6	构件承载力设计	- 15 -
5	结构分析	- 17 -
5.1	一般规定	- 17 -
5.2	弹性分析	- 19 -
5.3	弹塑性分析	- 21 -
6	构件设计	- 23 -
6.1	承载力设计	- 23 -
6.2	构造要求	- 31 -
7	节点设计	- 32 -

7.1	一般规定	- 32 -
7.2	矩形钢管-波折钢板组合墙的拼接节点	- 32 -
7.3	矩形钢管-波折钢板组合墙墙脚节点	- 35 -
7.4	钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙的连接节点	- 38 -
7.5	楼板与矩形钢管-波折钢板组合墙的连接	- 40 -
8	防护设计	- 43 -
8.1	防腐保护设计	- 43 -
8.2	防火保护设计	- 44 -
9	制作和安装	- 45 -
9.1	一般规定	- 45 -
9.2	矩形钢管-波折钢板构件的制作与安装	- 45 -
9.3	矩形钢管-波折钢板组合墙的混凝土浇筑	- 47 -
10	验收	- 49 -
10.1	一般规定	- 49 -
10.2	原材料及成品进场	- 49 -
10.3	零部件加工工程	- 51 -
10.4	焊接工程	- 52 -
10.5	钢结构安装工程	- 54 -
10.6	混凝土工程	- 55 -
附录 A	波折钢板推荐波形及平面外刚度验算	- 57 -
引用标准名录		- 60 -

Contents

1	General principles.....	- 1 -
2	Terms and symbols.....	- 2 -
	2.1 Terms	- 2 -
	2.2 Symbols	- 2 -
3	Materials	- 5 -
	3.1 General provisions	- 5 -
	3.2 Steel.....	- 5 -
	3.3 Connection material.....	- 5 -
	3.4 Concrete	- 6 -
4	Fundamental provisions.....	- 7 -
	4.1 General provisions	- 7 -
	4.2 Structural systems and structural member type.....	- 7 -
	4.3 Selection principle	- 12 -
	4.4 Seismic design grade	- 13 -
	4.5 Story drift limit and comfort requirements.....	- 14 -
	4.6 Strength design of structural members	- 15 -
5	Structure analysis.....	- 17 -
	5.1 General provisions	- 17 -
	5.2 Elastic analysis.....	- 19 -
	5.3 Elastoplastic analysis	- 21 -
6	Design of structural members.....	- 23 -
	6.1 Strength design	- 23 -
	6.2 Configuration detailing requirements	- 31 -
7	Design of connections	- 32 -
	7.1 General provision.....	- 32 -
	7.2 Splice of Steel Tubular-Corrugated Steel Plate Composite Walls.....	- 32 -

7.3	Base of Steel Tubular-Corrugated Steel Plate Composite Walls.....	- 35 -
7.4	Steel beam to Tubular-Corrugated Steel Plate Composite Wall connections	- 38 -
7.5	Slab to Tubular-Corrugated Steel Plate Composite Wall connections	- 40 -
8	Design of protections.....	- 43 -
8.1	Corrosion prevention design.....	- 43 -
8.2	Fire protection design	- 44 -
9	Fabrication and erection	- 45 -
9.1	General provisions	- 45 -
9.2	Fabrication and erection of Steel Tubular-Corrugated Steel Plate Members	- 45 -
9.3	Concrete pouring of Steel Tubular-Corrugated Steel Plate Composite Walls.....	- 47 -
10	Acceptance.....	- 49 -
10.1	General provisions	- 49 -
10.2	Raw materials and finished products.....	- 49 -
10.3	Components processing project.....	- 51 -
10.4	Welding project.....	- 52 -
10.5	Installation project of steel structures.....	- 54 -
10.6	Concrete project.....	- 55 -
	Appendix A Recommended wave shape for corrugated steel plates and out-of-plane stiffness check.....	- 57 -
	List of quoted standards	- 60 -

1 总则

1.1.1 为使矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构在多、高层建筑中合理应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本技术规程。

1.1.2 本技术规程适用于矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的设计、制作、安装及验收。

1.1.3 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的设计、制作、安装及验收，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 矩形钢管-波折钢板组合墙 Steel Tubular-Corrugated Steel Plate Composite Walls

由横置波折钢板、内填混凝土、钢筋和矩形钢管混凝土组成的受力单元，截面形式具有一字形、L形、T形、Z形等，可承受竖向和水平荷载作用。

2.1.2 横置波折钢板 Horizontal Corrugated Steel Plate

波形方向水平放置的波折钢板，波折钢板可采用开口型和闭口型的形式。

2.1.3 矩形钢管-波折钢板构件 Steel Tubular-Corrugated Steel Plate Member

由矩形钢管和横置波折钢板组成的钢构件，在工厂制作。

2.1.4 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构 Structure With Steel Tubular-Steel Corrugated Plate Composite Shear Walls

由矩形钢管-波折钢板组合墙、连梁、钢柱或钢管混凝土柱、钢梁及楼盖等组成的结构，可构成剪力墙结构体系、框架-剪力墙结构体系和框架-核心筒结构体系。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

f ——矩形钢管的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_y ——矩形钢管的屈服强度；

f_p ——波折钢板的抗拉、抗压和抗弯强度设计值

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

E_s 、 E_c ——钢材、混凝土的弹性模量；

2.2.2 作用、作用效应和抗力

M ——弯矩设计值；
 N ——轴心压力设计值；
 V ——剪力设计值；
 R_d ——构件承载力设计值；
 S_d ——作用组合的效应设计值；
 G_i ——第 i 楼层重力荷载设计值；
 N_c ——单根矩形钢管混凝土柱轴力设计值；

2.2.3 几何参数

H ——楼层高度；
 d_w ——墙体厚度；
 b_w ——波折钢板部分墙体宽度；
 b_c ——矩形钢管平行于剪力方向的宽度；
 d_0 ——矩形钢管混凝土端柱中心距；
 h_p ——波折钢板横截面波形的波高；
 t_{sc} ——矩形钢管厚度；
 t_p ——波折钢板厚度；
 t ——横隔板厚度；
 A_{sc} ——矩形钢管混凝土柱钢材部分截面面积；
 A_{cc} ——矩形钢管混凝土柱混凝土部分截面面积；
 A_{cw} ——波折钢板部分混凝土墙截面面积；
 A_p ——波折钢板计算面积；
 I_{sc} ——矩形钢管混凝土柱钢材部分截面惯性矩；
 I_{cc} ——矩形钢管混凝土柱混凝土部分截面惯性矩；
 I_{cw} ——波折钢板部分混凝土墙截面惯性矩；
 I_b ——钢梁截面惯性矩；
 C ——上、下节组合墙波折钢板边距；

2.2.4 计算系数及其他

γ_0 ——结构重要性系数；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

EJ_d ——结构一个主轴方向的弹性等效侧向刚度；
 V_0 ——对应于地震作用标准值的结构底层总剪力；
 V_f ——对应于地震作用标准值且未经调整的各层（或某一段内各层）框架承担的地震总剪力；
 $V_{f,max}$ ——对应于地震作用标准值且未经调整的各层框架承担的地震总剪力中的最大值；
 V_w ——底部加强部位剪力墙截面考虑地震作用组合的剪力计算值；
 η_{vw} ——剪力增大系数；
 $N_{upper,tube}$ ——本层以上楼层荷载按全截面分配至矩形钢管混凝土柱的荷载效应；
 N_{upper} ——上层底部轴力；
 M_{wua} ——剪力墙抗震受弯承载力；
 M_{upper} ——上层底部弯矩；
 n_c ——剪力墙中矩形钢管数量；
 φ ——一字形矩形钢管-波折钢板组合剪力墙平面外的受压整体稳定系数；
 λ_0 ——一字形矩形钢管-波折钢板组合剪力墙正则化长细比；
 λ ——一字形矩形钢管-波折钢板组合剪力墙平面外方向上的长细比；
 λ_w ——剪力墙高跨比；
 l_0 ——一字形矩形钢管-波折钢板组合剪力墙平面外方向上的计算长度，按边界条件计算；
 r_0 ——一字形矩形钢管-波折钢板组合剪力墙平面外方向上的截面当量回转半径；
 x ——塑性中和轴相对位置；
 ρ ——钢板剪力削弱系数；
 n ——剪力墙轴压比；

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1 本章适用于矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中钢材、连接材料和混凝土材料的选用和设计。

3.1.2 在设计文件中应完整地注明矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构对材料的技术要求。

3.2 钢材

3.2.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构钢材的选用应符合下列规定：

1 矩形钢管的选用应符合《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《冷弯型钢结构技术规范》GB 50018、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 等标准的规定，且质量等级不应低于 B 级；

2 波折钢板的力学性能指标应按现行国家标准《冷弯型钢结构技术规范》GB50018 的规定采用，且不宜采用 Q390 以上的高强度钢；

3.2.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙中钢筋宜采用 HRB335、HRB400、HRB500 热轧钢筋。热轧钢筋应符合国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2。

3.3 连接材料

3.3.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中栓钉应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433。

3.3.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中焊接材料的选用应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

3.3.3 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中连接用螺栓应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

3.4 混凝土

3.4.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙中混凝土的材料性能应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010，波折钢板组合剪力墙及其钢管混凝土柱内的混凝土强度等级不宜低于 C30。

3.4.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙中内填混凝土宜采用自密实混凝土，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。

3.4.3 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙中内填混凝土采用普通混凝土时，应采用合适的配合比、塌落度，并采取合理的施工措施保证密实性和施工质量。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构可由矩形钢管-波折钢板组合墙和钢梁、钢柱或钢管混凝土柱构成，用于多、高层建筑的剪力墙结构体系、框架-剪力墙结构体系或框架-核心筒结构体系。

4.1.2 采用矩形钢管-波折钢板组合墙的剪力墙结构体系和框架-剪力墙结构体系的结构平面布置和竖向布置宜规则、对称，应满足结构承载力和变形设计验算要求。

4.2 结构体系及结构构件类型

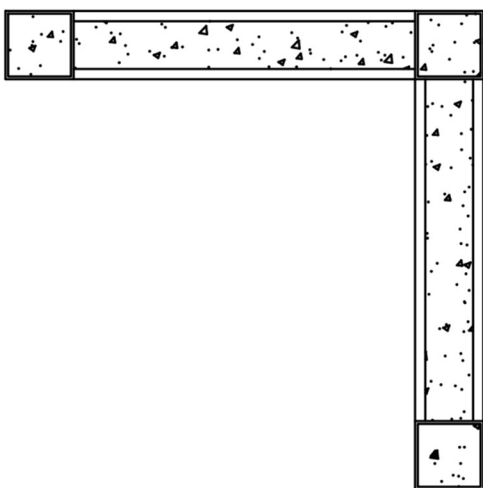
4.2.1 矩形钢管-波折钢板组合墙可采用双钢管一字形(图 4.2.1a)、多钢管一字形(图 4.2.1b)、L 形(图 4.2.11c)、T 形(图 4.2.1d)、Z 形(图 4.2.1e)、十字形(图 4.2.1f)。



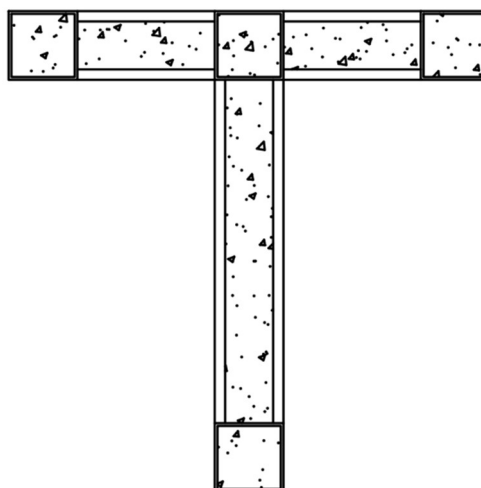
(a) 一字形



(b) 多钢管一字形



(c) L 形



(d) T 形

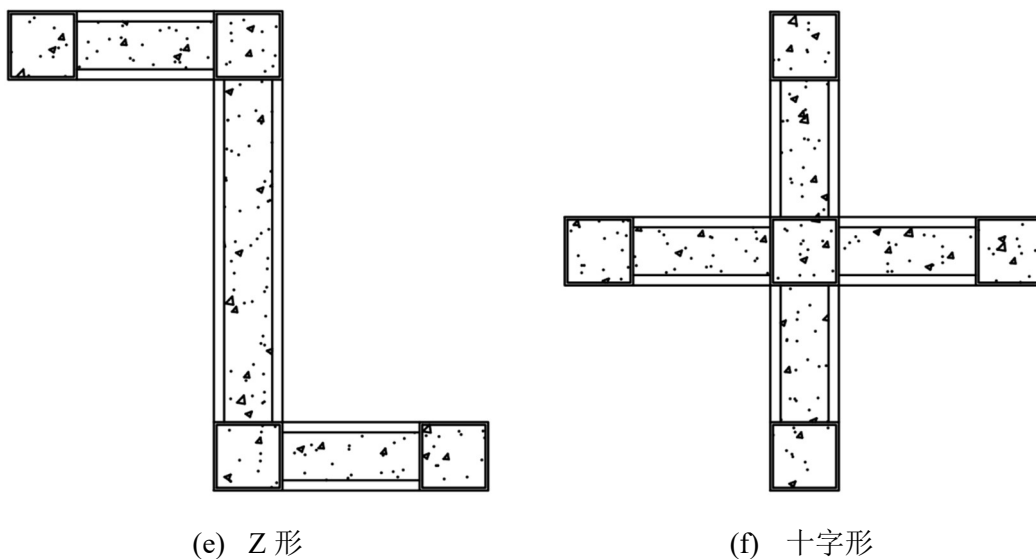


图 4.2.1 矩形钢管-波折钢板组合墙形式

4.2.2 采用矩形钢管-波折钢板组合墙可构成联肢墙和筒体，联肢墙的连接梁应采用钢连梁。

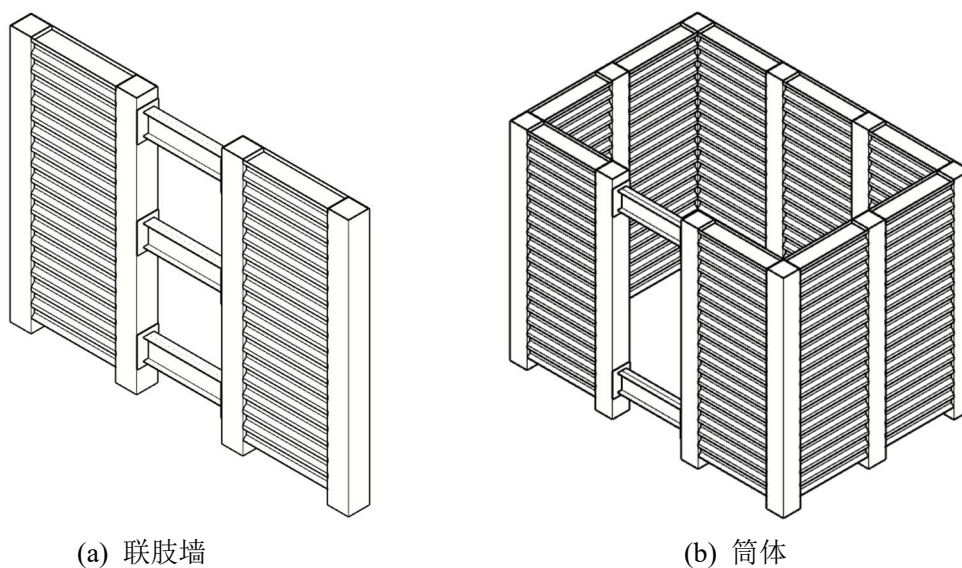


图 4.2.2 联肢墙和筒体的构成

4.2.3 采用矩形钢管-波折钢板组合墙的剪力墙结构体系，剪力墙的布置应符合下列规定：

- 1 平面布置宜简单、规则，剪力墙应双向布置。两个方向的侧向刚度不宜相差过大；
- 2 剪力墙宜均匀布置在建筑物的周边、楼电梯间、住宅分户

墙、平面凹凸化较大部位的凸角处；

3 单片剪力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%；

4 剪力墙宜自下到上连续布置，应避免刚度突变。

4.2.4 采用矩形钢管-波折钢板组合墙的框架-剪力墙结构体系应设计成双向抗侧力体系，结构两主轴方向均应布置剪力墙。

4.2.5 采用矩形钢管-波折钢板组合墙的框架-剪力墙（核心筒）结构体系应符合下列规定：

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，按剪力墙结构体系设计，其中的框架部分应按框架-剪力墙（核心筒）结构体系的框架进行设计；

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%但不大于 50%时，按框架-剪力墙（核心筒）结构体系设计；

3 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 50%但不大于 80%时，按框架-剪力墙（核心筒）结构体系设计，其最大适用高度可比框架结构适当增加，框架部分的抗震等级和轴压比限制宜按框架结构采用；

4 框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩 80% 时，按框架-剪力墙（核心筒）结构体系设计，其最大适用高度宜按框架结构采用，框架部分的抗震等级和轴压比限制应按框架结构采用；

【条文说明】本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 对于框架-剪力墙（核心筒）结构体系的规定，框架部分需根据承受的地震倾覆力矩确定抗震等级及其他规定。

4.2.6 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中的连梁可采用热轧或焊接 H 形钢等，或采用其他形式的消能构件。

4.2.7 采用矩形钢管-波折钢板组合剪力墙的框架-剪力墙结构体系中的框架部分，梁可采用热轧 H 型钢、焊接 H 型钢或其他截面的钢构件，柱可采用钢柱、钢管混凝土柱等。

4.2.8 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙中的矩形钢管，可采用热轧钢板焊接成型的钢管，也可采用热轧成型钢管或冷成型的直缝钢管。

4.2.9 矩形钢管-波折钢板组合墙中矩形钢管混凝土的中心距不宜大于 7 倍墙厚。

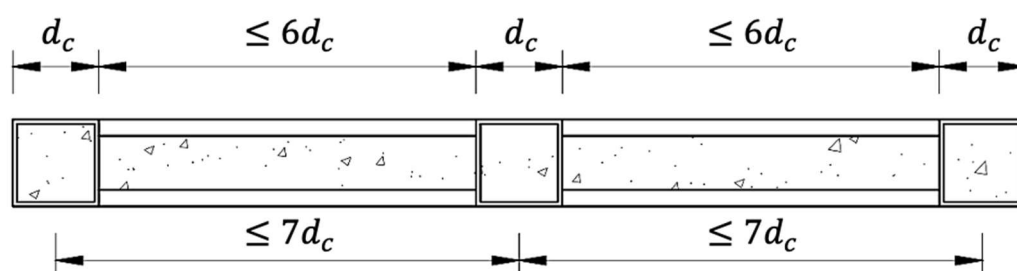


图 4.2.9 钢管-波折钢板组合墙钢管混凝土的中心距

【条文说明】为防止钢管-波折钢板组合墙混凝土浇筑时波折钢板发生平面外变形，以及组合墙抗弯、抗剪工作时能基本符合平截面假定，钢管-波折钢板组合墙两端设置的钢管混凝土边缘构件的中心距不能太大。如果矩形钢管-波折钢板组合墙较宽，设置的钢管混凝土边缘构件中心距大于 7 倍墙厚时，则应在墙中加设钢管混凝土构件，使墙中钢管混凝土构件中心距不大于 7 倍墙厚。

4.2.10 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构墙肢小于或等于 2 倍墙厚时，可采用矩形钢管混凝土或异形钢管混凝土，如图 4.2.10 所示。

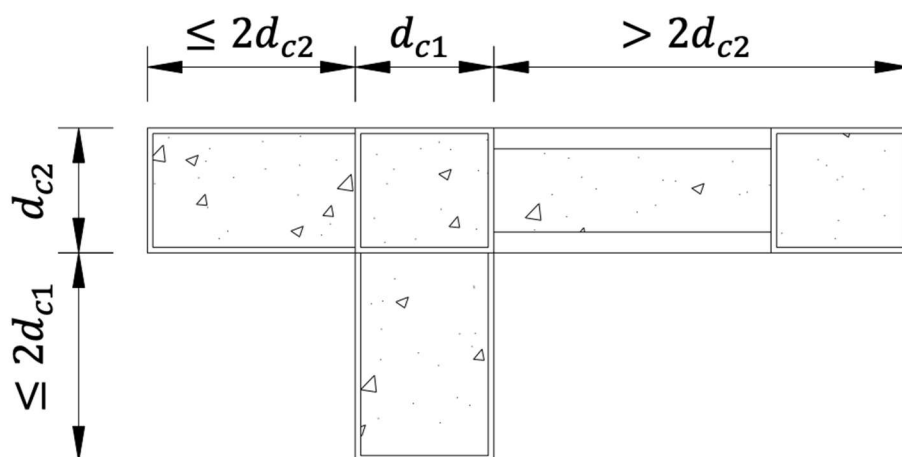


图 4.2.10 采用异形钢管混凝土的矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构

【条文说明】矩形钢管-波折钢板组合墙宽较小时，则墙两端钢管间横置波折钢板的长度会很小，组合墙的工厂制造与现场施工的效率将降低，因此对于墙肢长度小于或等于 2 倍墙厚的墙垛，可采用矩形钢管混凝土代替矩形钢管-波折钢板组合墙，对于 L 形、T 形墙垛，墙肢长度小于 3 倍墙宽，则可以采用异形钢管混凝土。

4.2.11 矩形钢管-波折钢板组合墙中的波折钢板可采用开口型波折钢板(图 4.2.11 a)和闭口型波折钢板(图 4.2.11 b)。

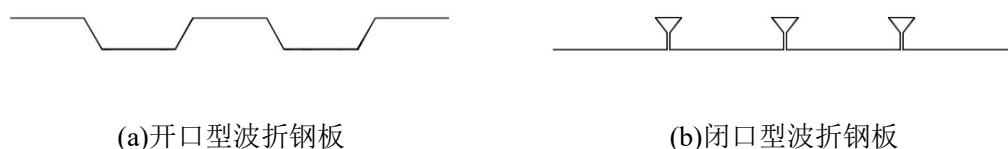


图 4.2.11 矩形钢管-波折钢板组合墙中的波折钢板

4.2.12 波折钢板的厚度不应小于 1mm，波折钢板的形状宜按附录 A 采用，波折钢板的最小波高应满足混凝土浇筑时平面外刚度的要求，计算方法见附录 A。

【条文说明】为使波折钢板具有较大的平面外刚度和平面内抗剪切屈曲稳定承载力，参考《波纹腹板钢结构技术规程》CECS 291:2011 对波纹腹板钢梁中对波纹板的抗剪要求，制定了本条规定。波折钢板的最小波高的要求，应满足混凝土浇筑时波折钢板作为模板的面

外变形限制要求,。

4.2.13 矩形钢管-波折钢板组合墙墙厚不宜小于 150mm，且组合墙波折钢板间的混凝土净腔厚度不宜小于 100mm。

【条文说明】为确保混凝土浇筑振捣装置可伸入墙体空腔，同时保证混凝土密实度，结合试验结果制订了本条规定。

4.3 选型要求

4.3.1 采用钢管-波折钢板组合剪力墙结构用于抗震设防烈度为 6 度至 9 度的乙类和丙类高层民用建筑的最大适用高度应符合表 4.3.1 的规定。平面和竖向均不规则结构的最大适用高度宜适当降低。

表 4.3.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的最大适用高度(m)

结构体系	6 度，7 度 (0.10g)	7 度 (0.15g)	8 度		9 度 (0.40g)
			(0.20g)	(0.30g)	
剪力墙结构	140	120	100	80	60
框架-剪力墙结构	130	120	100	80	50
框架-核心筒结构	220	190	150	130	70

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度(不包括局部突出的屋顶部分)；
2 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；
3 甲类建筑，抗震设防烈度为 6 度、7 度时宜按照本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的要求，抗震设防烈度为 8 度以上时应专门研究。

【条文说明】本条参考《组合结构设计规范》JGJ 138 中对于钢筋混凝土剪力墙相关结构体系最大适用高度的规定。

4.3.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的高宽比不宜超过表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 矩形钢管-波折钢板剪力墙结构的最大适用高宽比

设防烈度	6 度、7 度	8 度	9 度
最大高宽比	6.5	6	5.5

注：1 计算高宽比的高度一般从室外地面算起；
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。

【条文说明】本条综合考虑《建筑抗震设计规范》GB50011 对于钢结构建筑最大适用高宽比的规定。

4.4 抗震等级

4.4.1 各抗震设防类别矩形钢管-波折钢板剪力墙结构的抗震措施应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223。

4.4.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构应根据设防分类、烈度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符合下列规定：

- 1 矩形钢管-波折钢板组合墙和钢管混凝土柱的抗震等级应按照表 4.4.2 确定。
- 2 框架中钢梁和钢柱的抗震等级为：框架大于 50m 抗震设防烈度为 6、7、8、9 时，应分别取四、三、二、一级；框架小于等于 50m 抗震设防烈度为 6、7、8、9 时，应分别取四、四、三、二级。

表 4.4.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的抗震等级

结构体系类型		设防烈度									
		6 度		7 度			8 度			9 度	
剪力墙结构体系	高度(m)	≤ 80	> 80	≤ 24	25~80	> 80	≤ 24	25~80	> 80	≤ 24	25~60
	剪力墙	四	三	四	三	二	三	二	一	二	一
框架-剪力墙结构体系	高度(m)	≤ 60	> 60	≤ 24	26~60	> 60	≤ 24	26~60	> 60	≤ 24	25~50
	框架	四	三	四	三	二	三	二	一	二	一
	剪力墙	三	三	三	二	二	二	一	一	一	一
框架-核心筒	高度(m)	≤ 150	> 150	≤ 130	> 130	≤ 100	> 100	≤ 70			
	框架	三	二	二	一	一	一	一			
	核心筒	二	二	二	一	一	一	一	特一		

注：本表中框架的抗震等级适用于钢管混凝土柱。

【条文说明】本条参考《组合结构设计规范》JGJ 138 中对于钢筋混凝土剪力墙相关结构体系抗震等级的规定。

4.4.3 抗震设计时，当地下室顶层作为上部结构的嵌固端时，地下一层相关范围的构件抗震等级应按照上部结构采用，地下一层以下的构件抗震等级可逐层降低一级，但不应低于四级；地下室中超出上部主楼相关范围且无上部结构的部分，其抗震等级可根据具体情况采用三级或四级。

4.4.4 抗震设计时，与主楼连为整体的裙房的抗震等级，除应按裙房本身确定外，相关范围不应低于主楼的抗震等级；主楼结构在裙房顶板上、下各一层应适当加强抗震构造措施。裙房与主楼分离时，按本身确定抗震等级。

【条文说明】参考《建筑抗震设计规范》GB50011 中对于钢筋混凝土房屋抗震等级的规定给出上述条文规定。

4.5 水平位移限制和舒适度要求

4.5.1 在风荷载作用下，按弹性方法计算的矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的楼层层间最大水平位移与层高之比应符合下列规定：

- 1 按剪力墙结构体系设计时不宜大于 $1/500$ ；
- 2 按框架-剪力墙（核心筒）结构体系设计时不宜大于 $1/400$ 。

4.5.2 在地震作用下，矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的楼层层间最大位移与层高之比应符合下列规定：

- 1 剪力墙结构体系在多遇地震作用下不宜大于 $1/450$ ；
- 2 框架-剪力墙（核心筒）结构体系在多遇地震作用下不宜大于 $1/350$ ；
- 3 在罕遇地震作用下不宜大于 $1/70$ 。

【条文说明】综合考虑针对矩形钢管-波折钢板组合剪力墙的试验结果及《建筑抗震设计规范》GB 50011、《组合结构设计规范》JGJ 138、《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS 546 等相关规程标准对于剪力墙相关结构体系的规定给出本条规定。

4.5.3 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构在罕遇地震作用下的楼层层间位移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 的结构；
 - 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 4.5.3 所规定高度范围且为竖向不规则类型的结构；

表 4.5.3 宜进行弹塑性变形验算的竖向不规则结构

烈度、场地类别	房屋高度范围 (m)
8 度 I、II 类场地和 7 度	>100
8 度 III、IV 类场地	>80
9 度	>60

- 2) 7 度 III、IV 类场地的乙类建筑和 8 度时的乙类建筑。

4.5.4 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的风振舒适度验算及楼盖结构舒适度验算应符合《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

4.6 构件承载力设计

4.6.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构构件无地震作用工况的承载力应下式验算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (4.6.1)$$

式中：

γ_0 ——结构重要系数，对安全等级为一级的结构构件不应小于

1.1, 对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0;

S_d ——作用组合的效应设计值, 应按照《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定计算;

R_d ——构件承载力设计值。

4.6.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构构件有地震作用工况的承载力应下式验算:

$$S_d \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (4.6.2)$$

式中:

γ_{RE} ——构件承载力抗震调整系数, 组合构件和钢构件应分别按表 4.6.2 - 1 和表 4.6.2 - 2 确定; 当仅考虑竖向地震作用组合时, 各类结构构件的承载力抗震调整系数均应取为 1.0。

表 4.6.2 - 1 组合构件承载力抗震调整系数 γ_{RE}

压、弯承载力计算		受剪承载力、节点计算
矩形钢管混凝土柱	波折钢板混凝土组合墙	
0.80	0.85	0.85

表 4.6.2 - 2 钢构件承载力抗震调整系数 γ_{RE}

强度验算 (梁、柱、节点板件、螺栓、焊缝)	稳定验算
0.75	0.80

【条文说明】 本条规定参考《组合结构设计规范》JGJ 138、《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS 546 中对于承载力设计的规定。

5 结构分析

5.1 一般规定

5.1.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的荷载及荷载组合应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB50009、《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定。

5.1.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构应根据施工和使用的实际情况进行各受力状况下的结构分析。对地震设计状况，应进行多遇地震作用下的内力和变形分析；不规则且具有明显薄弱部位可能导致重大地震破坏的结构，尚应进行罕遇地震作用下的变形分析。

5.1.3 结构分析时，应根据结构类型、材料性能和受力特点等采用弹性或弹塑性分析方法。多遇地震作用下的内力和变形分析，可采用线弹性静力方法；罕遇地震作用下的变形分析可采用静力弹塑性方法或动力弹塑性时程分析方法。

5.1.4 结构分析中，应符合下列要求：

- 1 满足力学平衡条件；
- 2 符合变形协调条件；
- 3 采用合理的材料本构关系；
- 4 考虑施工安装方案的影响。

5.1.5 结构分析所采用的计算软件应经过考核和验证，其技术条件应符合本规程和国家现行有关标准的要求。

5.1.6 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构分析时，应符合下列要求：

- 1 钢筋混凝土楼板与矩形钢管或钢梁间应连接和变形协调；
- 2 结构弹性分析时，可计入钢筋混凝土楼板对钢梁抗弯刚度的增大作用，两侧有楼板的钢梁其惯性矩可取为 $1.5I_b$ ，仅一侧有楼板的钢梁其惯性矩可取为 $1.2I_b$ ， I_b 为钢梁截面惯性矩；

3 结构弹塑性分析时，不应考虑楼板对钢梁惯性矩的增大作用。

【条文说明】条文参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 确定。

5.1.7 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体的影响并予以折减。当非承重墙体为填充轻质砌块、填充轻质墙板或外挂墙板时，自振周期折减系数可取 0.9~1.0。

【条文说明】条文参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 确定。

5.1.8 采用振型分解反应谱法时，振型数不应小于 15，多塔结构的振型数不应小于塔楼数的 9 倍，且计算振型数应使各振型参与质量之和不小于总质量的 90%。

【条文说明】条文参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 确定。

5.1.9 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的整体稳定性应满足下式要求：

$$EJ_d \geq 1.0H^2 \sum_{i=1}^n G_i \quad (5.1.9)$$

式中：

G_i ——分别为第 i 楼层重力荷载设计值(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；

H ——楼层高度(mm)；

EJ_d ——结构一个主轴方向的弹性等效侧向刚度(kN·mm²)，可按倒三角形分布的侧向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。

若不满足式(5.1.9)要求，则应调整并增大结构的侧向刚度。

【条文说明】条文参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 确

定。用于控制重力 P-效应不超过 20%，使机构的稳定具有适宜的安全储备。

5.1.10 高层矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构整体计算中，当地下室顶板作为上部结构嵌固部位时，地下一层与首层侧向刚度比不宜小于 2。

【条文说明】条文参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 确定。

5.2 弹性分析

5.2.1 结构弹性分析方法可用于结构承载能力极限状态和正常使用极限状态作用效应的分析。

5.2.2 结构弹性分析模型应根据实际情况确定，应能准确反映结构的刚度和质量分布以及各构件的受力状况，组合墙可采用刚度等效的墙板单元，梁、柱可采用杆单元；

【条文说明】条文参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 确定。

5.2.3 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构弹性分析时，波折钢板组合墙剪切刚度可按最小混凝土空腔截面的双平钢板组合墙确定。

【条文说明】将矩形钢管-波折钢板组合墙按面积等效为最小混凝土空腔截面的双平钢板组合墙计算剪切刚度，偏于保守。

5.2.4 进行结构弹性计算时，结构阻尼比的取值应符合下列规定：

- 1 在多遇地震下，房屋高度小于 200m 时可取 0.04；房屋高度不小于 200m 时宜取 0.03；
- 2 风荷载作用下楼层位移验算和构件承载力验算时，取 0.03；
- 3 风荷载作用下舒适度验算时，取 0.02。

【条文说明】本条参考《建筑抗震设计规范》GB 50011、《组合结构

设计规范》JGJ138、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 确定。

5.2.5 进行矩形钢管-波折钢板组合墙的框架-剪力墙结构体系弹性分析时，各层框架地震作用内力应符合下列规定：

1 当框架某层的总剪力满足式(5.2.5)要求时，则框架该层的总剪力不必调整；对于不满足式(5.2.5)要求的楼层，其框架总剪力应按 $0.25V_0$ 和 $1.8V_{f,\max}$ 二者的较小值采用；

$$V_f \geq 0.25V_0 \quad (5.2.5)$$

式中：

V_0 ——当框架柱数量从下至上基本不变时，取框架-剪力墙结构体系地震作用底层总剪力；当框架柱数量从下至上分段有规律变化时，取框架-剪力墙结构体系每段底层的地震作用总剪力；

V_f ——框架-剪力墙结构体系中的框架各层分担的地震总剪力；

$V_{f,\max}$ ——当框架柱数量从下至上基本不变时，取框架各层承担的地震总剪力中的最大值；当框架柱数量从下至上分段有规律变化时，取每段中框架各层承担的地震总剪力中的最大值。

2 各层框架所承担的地震总剪力按本条第 1 款调整后，应按调整前、后总剪力的比值调整该层每根框架柱和与之相连框架梁的剪力及端部弯矩标准值，框架柱的轴力标准值可不予调整；

3 采用振型分解反应谱法计算地震作用时，本条第 1 款所规定的调整可在振型组合之后进行，并满足《建筑抗震设计规范》GB50011 关于楼层最小地震剪力系数的要求。

【条文说明】参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 确定。

5.2.6 底部加强部位的矩形钢管-波折钢板组合墙截面的剪力设计值，抗震等级为一、二、三级时应按式(5.2.7-1)调整，9 度抗震等级为一级的剪力墙应按式 (5.2.7-2)调整；抗震等级为二、三级的其它部位及四级时可不调整。

$$V = \eta_{vw} V_w \quad (5.2.6-1)$$

$$V = 1.1 \frac{M_{wua}}{M_w} V_w \quad (5.2.6-2)$$

式中：

V ——底部加强部位组合墙截面剪力设计值；

V_w ——底部加强部位组合墙截面考虑地震作用组合的剪力计算值；

M_{wua} ——组合墙抗震受弯承载力，应考虑承载力抗震调整系数 γ_{RE} 并采用材料强度标准值和组合的轴力设计值计算；

M_w ——底部加强部位剪力墙底截面弯矩的组合计算值；

η_{vw} ——剪力增大系数，抗震等级为一级时取 1.6，抗震等级为二级时取 1.4，抗震等级为三级时取 1.2。

【条文说明】条文参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3。

5.2.7 抗震等级为一级时，矩形钢管-波折钢板组合墙的底部加强区以上的部位墙的组合弯矩设计值和组合剪力设计值应乘以增大系数，弯矩增大系数可取为 1.2，剪力增大系数可取为 1.3。

【条文说明】本条参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关规定。

5.2.8 进行矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构重力荷载作用下的弹性分析时，楼板的计算边界条件可按简支考虑。

5.3 弹塑性分析

5.3.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的弹塑性分析，当房屋高度不超过 100m 时，可采用静力弹塑性分析法；高度超过 150m 时，应采用动力弹塑性时程分析法；高度为 100m~150m 时，可视结构不规则程度采用静力弹塑性分析法或动力弹塑性时程分析法。

5.3.2 结构的弹塑性分析宜遵循下列原则：

1 应预先设定结构、构件的形状、尺寸、边界条件和材料性能

等；

2 材料的性能参数宜通过试验分析确定，取平均值；也可按相关规范确定，区标准值；

3 宜采用空间计算模型；

4 应考虑结构二阶效应；

5 复杂结构应首先进行施工模拟分析，以施工全过程完成后的状态作为弹塑性分析的初始状态；

6 结构上应作用重力荷载代表值，其效应应与地震作用效应组合。

5.3.3 进行罕遇地震作用下结构弹塑性计算时，矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的阻尼比可取 0.05。

6 构件设计

6.1 承载力设计

6.1.1 对于矩形钢管-波折钢板组合墙，应验算各层墙顶部矩形钢管混凝土柱的受压承载力、顶部墙全截面受压稳定性和底部墙全截面抗压、抗弯及抗剪承载力。

6.1.2 进行矩形钢管-波折钢板组合墙各层墙顶部矩形钢管混凝土柱的受压承载力验算时，应取本层顶部荷载效应以及本层以上楼层荷载效应之和。其中本层顶部重力产生的竖向永久荷载和活荷载效应仅由矩形钢管混凝土柱承担，本层顶部风和地震作用产生的荷载效应由墙全截面承担分配至矩形钢管混凝土柱，本层以上楼层的各种荷载效应均由墙全截面承担分配至矩形钢管混凝土柱。

【条文说明】矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构，楼板主要与组合墙的钢管混凝土柱连接，故本层重力荷载直接传递至本层顶部组合墙中的钢管混凝土柱。但由于组合墙中有栓钉和波折钢板，可将墙中钢管混凝土柱顶的轴压应力扩散传递至混凝土墙中，因此本层以上楼层的重力荷载效应在本层顶部可由墙全截面承担。另外，风或地震水平荷载在组合墙中主要通过弯矩效应使组合墙中的钢管混凝土柱受压，试验表明组合墙的弯矩效应可由墙全截面承担。

6.1.3 本层组合墙顶部全截面承担的轴力应按轴向刚度比分配至组合墙中的矩形钢管混凝土柱顶部，本层组合墙顶部的弯矩应按钢管混凝土与混凝土墙对全截面抗弯刚度的贡献比进行分配，本层墙顶部钢管混凝土柱承担本层以上的轴向荷载应按下列公式计算：

$$N_{upper,tube} = \frac{(E_s A_{sc} + E_c A_{cc}) N_{upper}}{(n_c E_s A_{sc} + n_c E_c A_{cc} + E_c A_{cw})} + \frac{(E_s I_{sc} + E_c I_{cc}) M_{upper}}{(2E_s I_{sc} + 2E_c I_{cc} + E_c I_{cw}) r_{tube}} \quad (6.1.3-1)$$

式中：

$N_{upper,tube}$ ——各层组合墙顶部全截面分配至墙端矩形钢管混凝土柱的轴压力；

N_{upper} ——各层组合墙顶部全截面所受轴力；

M_{upper} ——各层组合墙顶部全截面所受弯矩；

E_s ——矩形钢管弹性模量；

E_c ——混凝土弹性模量；

A_{sc} ——单根矩形钢管混凝土柱中钢管截面面积；

A_{cc} ——单根矩形钢管混凝土柱中混凝土截面面积；

A_{cw} ——波折钢板墙体部分的混凝土面积，使用闭口压型钢板的组合墙不考虑钢板对混凝土厚度的缩减，使用开口波折钢板的组合墙波折钢板墙体部分的混凝土面积按下列计算：

$$A_{cw} = b_w d_{w0} \quad (6.1.3-2)$$

$$d_{w0} = d_w - 2h_p \quad (6.1.3-2)$$

式中：

b_w ——波折钢板部分墙体宽度；

d_{w0} ——波折钢板部分混凝土净腔厚度；

d_w ——墙体厚度；

h_p ——波折钢板横截面波形的波高；

n_c ——组合墙中矩形钢管的数量；

I_{sc} ——单根矩形钢管混凝土柱中钢管截面对组合墙截面形心的惯性矩；

I_{cc} ——单根矩形钢管混凝土柱中混凝土部分截面对组合墙截面形心的惯性矩；

I_{cw} ——组合墙波折钢板墙体部分混凝土截面对组合墙截面形心的惯性矩，使用闭口压型钢板的组合墙不考虑钢板对混凝土厚度的缩减，使用开口波折钢板的组合墙波折钢板墙体部分混凝土厚度取净腔厚度计算；

r_{tube} ——单根矩形钢管混凝土柱对组合墙截面形心的回转半径。

6.1.4 对于 L 形、T 形和 Z 形矩形钢管-波折钢板组合墙，验算墙各层顶部两方向墙肢交接处矩形钢管混凝土受压承载力时，应叠加两方向墙肢的荷载效应；验算墙各层底部全截面承载力时，可分解为

各方向一字形墙分别验算。

6.1.5 矩形钢管-波折钢板组合墙顶部单根矩形钢管混凝土柱受压承载力，应按下式验算：

$$N_c \leq N_{uc} \quad (6.1.5-1)$$

$$N_{uc} = f A_{sc} + f_c A_{cc} \quad (6.1.5-2)$$

式中：

N_c ——单根矩形钢管混凝土柱承担本层及本层以上分配给矩形钢管混凝土柱的轴压力设计值之和；

N_{uc} ——单根矩形钢管混凝土柱受压承载力；

f_c ——矩形钢管混凝土柱内填混凝土抗压强度设计值；

f ——矩形钢管钢材强度设计值

6.1.6 一字形矩形钢管-波折钢板组合墙底部全截面受压承载力，应按下式计算：

$$N \leq N_u \quad (6.1.6-1)$$

$$N_u = n_c f A_{sc} + f_c (n_c A_{cc} + A_{cw}) \quad (6.1.6-2)$$

式中：

N ——矩形钢管-波折钢板组合墙轴压力设计值；

N_u ——矩形钢管-波折钢板组合墙受压承载力设计值；

6.1.7 一字形矩形钢管-波折钢板组合墙在轴向压力作用下的平面外整体稳定性，应按下式验算：

$$N \leq \varphi N_u \quad (6.1.7-1)$$

式中：

φ ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙平面外的受压整体稳定系数，按下式计算：

当 $\lambda_0 \leq 0.215$ 时：

$$\varphi = 1 - 0.65 \lambda_0^2 \quad (6.1.7-2)$$

当 $\lambda_0 > 0.215$ 时：

$$\varphi = \frac{\left[(0.965 + 0.3\lambda_0 + \lambda_0^2) - \sqrt{(0.965 + 0.3\lambda_0 + \lambda_0^2)^2 - 4\lambda_0^2} \right]}{2\lambda_0^2} \quad (6.1.7-3)$$

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \quad (6.1.7-4)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{r_0} \quad (6.1.7-5)$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{I_s + E_c I_c / E_s}{A_s + A_c f_c / f_y}} \quad (6.1.7-6)$$

式中：

λ_0 ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙正则化长细比；

λ ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙平面外长细比；

l_0 ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙平面外计算长度，可取为墙层高；

r_0 ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙截面平面外当量回转半径。

I_s ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙钢管部分截面对组合墙截面形心的平面外弯曲刚度；

I_c ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙混凝土部分截面对组合墙截面形心的平面外弯曲刚度，若使用闭口压型钢板的组合墙波折钢板部分墙体混凝土不考虑钢板对混凝土厚度的缩减，使用开口波折钢板的组合墙波折钢板墙体部分混凝土厚度取平均截面厚度计算；

A_s ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙钢管部分截面面积；

A_c ——一字形矩形钢管-波折钢板组合墙混凝土部分截面面积，若使用闭口压型钢板的组合墙波折钢板部分墙体混凝土不考虑钢板对混凝土厚度的缩减，使用开口波折钢板的组合墙波折钢板墙体部分混凝土厚度取平均截面厚度计算。

【条文说明】可按轴心受压柱验算一字形矩形钢管-波折钢板组合墙的平面外整体稳定承载力，其中稳定系数按照《钢结构设计标准》

GB 50017 的 b 类轴心受压构件的稳定系数选取，图 1 是一字形矩形钢管-波折钢板组合墙的平面外整体稳定系数数值分析结果与《钢结构设计标准》GB 50017 中 b 类轴心受压构件的稳定系数对比。

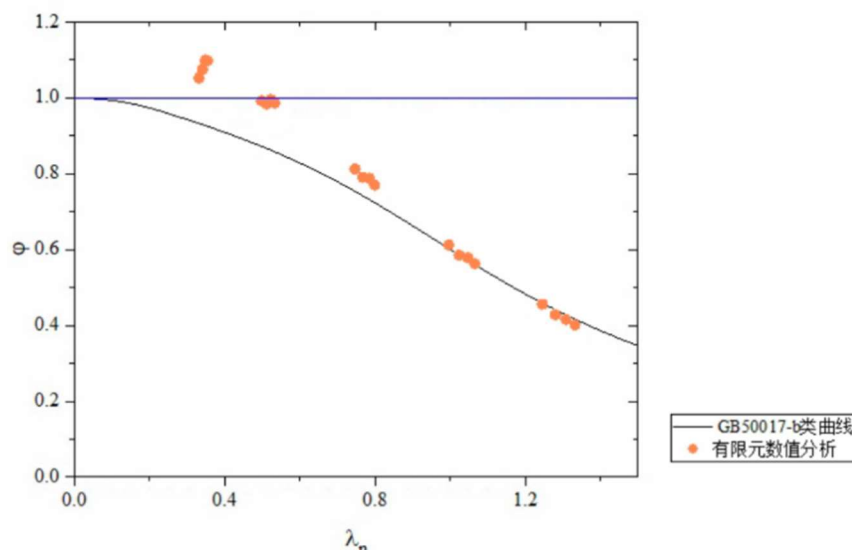


图 1 矩形钢管-波折钢板组合墙的平面外整体稳定系数

6.1.8 两矩形钢管-波折钢板一字形组合墙底部截面的受弯承载力应符合如下规定：

1 受弯承载力应按下列公式计算：

$$N = N_c + (f - \sigma_{sc})A_{sc} \quad (6.1.8-1)$$

$$M \leq M_u = M_c + (f + \sigma_{sc})A_{sc} \times \frac{b_c + b_w}{2} \quad (6.1.8-2)$$

2 N_c 、 M_c 应按下列规定计算：

1) 当 $x \in [0, b_c)$ 时，

$$N_c = \alpha_1 f_c \frac{x A_{cc}}{b_c} \quad (6.1.8-3)$$

$$M_c = \alpha_1 f_c \frac{x A_{cc}}{b_c} \times \frac{b_w + 2b_c - x}{2} \quad (6.1.8-4)$$

2) 当 $x \in [b_c, b_c + b_w]$ 时，

$$N_c = \alpha_1 f_c [A_{cc} + (x - b_c)d_{w0}] \quad (6.1.8-5)$$

$$M_c = \alpha_1 f_c [A_{cc} \times \frac{b_c + b_w}{2} + (x - b_c) d_{w0} \times \frac{b_c + b_w - x}{2}] \quad (6.1.8-6)$$

3) 当 $x \in (b_c + b_w, 2b_c + b_w]$ 时,

$$N_c = \alpha_1 f_c [(\frac{x - b_w}{b_c}) A_{cc} + A_{cw}] \quad (6.1.8-7)$$

$$M_c = \alpha_1 f_c A_{cc} \times [\frac{b_c + b_w}{2} + \frac{x - b_w - b_c}{b_c} \times \frac{x - b_c}{2}] \quad (6.1.8-8)$$

3 σ_{sc} 应按下列规定计算:

1) 当 $x \leq \xi_b h_{w0}$ 时, 取 $\sigma_{sc} = f$;

2) 当 $x > \xi_b h_{w0}$ 时,

$$\sigma_{sc} = \frac{f}{\xi_b - \beta_1} (\frac{x}{h_{w0} - \beta_1}) \quad (6.1.8-9)$$

3) ξ_b 可按下列式计算:

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{0.0033 E_s}} \quad (6.1.8-10)$$

式中,

M ——组合墙弯矩设计值;

M_u ——组合墙受弯承载力设计值;

σ_{sc} ——受拉或受压较小边的矩形钢管应力;

N_c ——组合墙中混凝土部分所承担的轴向力;

M_c ——组合墙中混凝土部分合力对墙体截面中心的力矩;

b_c ——矩形钢管平行于剪力方向的宽度;

α_1 ——受压区混凝土压应力影响系数, 按《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定取值;

β_1 ——受压区混凝土应力图形影响系数, 按《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定取值;

x ——受压区高度;

h_{w0} ——组合墙截面有效高度, 可取 $h_{w0} = b_w + 1.5b_c$;

【条文说明】矩形钢管-波折钢板组合墙受弯承载力的计算方法参考《组合结构设计规范》JGJ 138 中对于型钢混凝土剪力墙正截面承载力计算方法，其中不考虑波折钢板、钢筋对于承载力的贡献值。根据矩形钢管-波折钢板组合墙进行的水平加载试验，选取破坏模式为受弯破坏的试件，试验结果与本条规定计算值对比如下表，可见计算值均接近于试验值。

编号	剪跨比	轴力 (kN)	轴压比	试验值 M_{ue} (kN·m)	计算值 M_{uc} (kN·m)	M_{uc}/M_{ue}
KJ325-1	2.94	0	0.00	526.32	568.71	1.08
KJ325-2	2.94	462	0.12	708.64	669.78	0.95
KJ325-3	2.94	829	0.21	751.64	683.28	0.86
KJ650-1	1.89	0	0.00	937.40	974.94	1.04
KJ650-2	1.89	709.1	0.16	1319.24	1208.25	0.92
KJ650-3	1.89	1322.7	0.29	1291.72	1208.90	0.86
KJ975-1	1.39	0	0.00	1061.24	1381.16	1.30
KJ975-3	1.39	1414	0.27	1859.32	1827.77	0.93
均值						0.99
方差						0.02

6.1.9 多钢管组成的矩形钢管-波折钢板一字形组合墙受弯承载力，可按同等墙宽的双钢管组成的矩形钢管-波折钢板一字形组合墙进行计算。

6.1.10 一字形钢管-波折钢板组合墙受剪承载力设计值，应按下列公式验算：

$$V \leq V_u = 0.5 f_t (2A_{cc} + A_{cw}) + 0.13N + f_{yh} \frac{A_{sv}}{s} l_{yh} + 0.3 f A_{sc} + 0.6 f_p A_p \quad (6.1.10-1)$$

式中，

A_p ——波折钢板计算面积，按公式 6.1.9-2 计算

$$A_p = 2t_p d_w \quad (6.1.10-2)$$

t_p ——波折钢板厚度；

N ——轴力设计值，当 $N > 0.2N_u$ 时，取 $N = 0.2N_u$

f_{yh} ——水平分布钢筋强度设计值；

A_{sv} ——单排水平分布钢筋总面积；

s ——水平分布钢筋分布间距；

l_{yh} ——水平分布钢长度；

【条文说明】本条规定参考《组合结构设计规范》JGJ 138 中对于带边暗柱钢板组合墙的抗剪承载力计算公式，对低矮剪力墙进行有限元数值研究分析，结果对比如下表所示，公式计算值均小于有限元计算值。

编号	f	f_p	f_c	f_t	f_{yh}	n	N	V_u	V_{Fem}	V_{Fem}/V_u
wall-1-1	460	460	45.7	3.23	400	0.077	1000	1901	2280.2	1.20
wall-1-2	460	460	45.7	3.23	400	0.154	2000	2031	2328.4	1.15
wall-1-3	460	460	45.7	3.23	400	0.231	3000	2109	2319.9	1.10
wall-1-4	460	460	45.7	3.23	400	0.308	4000	2109	2279.1	1.08
wall-2-1	420	460	45.7	3.23	400	0.079	1000	1845	2212.1	1.20
wall-2-2	420	460	45.7	3.23	400	0.158	2000	1975	2225.7	1.13
wall-2-3	420	460	45.7	3.23	400	0.238	3000	2044	2237.7	1.09
wall-2-4	420	460	45.7	3.23	400	0.317	4000	2044	2210.4	1.08
wall-6-1	355	460	45.7	3.23	400	0.077	1000	1844	2222.2	1.21
wall-6-3	355	460	45.7	3.23	400	0.154	2000	1974	2252.2	1.14
wall-3-1	460	420	45.7	3.23	400	0.139	2000	2291	2583.1	1.13
wall-3-2	460	420	45.7	3.23	400	0.209	3000	2404	2589.8	1.08
wall-3-3	460	420	45.7	3.23	400	0.085	1000	1830	2157.7	1.18
wall-7-1	460	355	45.7	3.23	400	0.171	2000	1960	2211.0	1.13
wall-7-3	460	355	45.7	3.23	400	0.083	1000	1755	2125.9	1.21
wall-8-1	460	460	38.1	2.92	400	0.077	1000	1750	2156.1	1.23
wall-8-3	460	460	38.1	2.92	400	0.231	3000	1958	2170.4	1.11
wall-9-1	460	460	30.5	2.58	400	0.087	1000	1872	2239.2	1.20
均值										1.15
方差										0.003

6.1.11 矩形钢管-波折钢板组合墙的轴压比，不宜超过表 6.1.11 的限值。

表 6.1.11 轴压比限值

抗震等级	一级	二级、三级	四级
轴压比限值	0.45	0.5	0.6

组合墙轴压比 n ，可按下列公式计算

$$n = \frac{N}{f_c(n_c A_{cc} + A_{cw}) + n_c f_{sc} A_{sc}} \quad (6.1.11)$$

【条文说明】综合考虑《混凝土结构设计规范》、《钢管束混凝土组合结构标准》等规范对于剪力墙轴压比限制确定。

6.2 构造要求

6.2.1 组合墙中矩形钢管管壁板件的宽厚比不应大于 $60\sqrt{235/f_y}$ 。

6.2.2 组合墙中钢管外侧与混凝土墙体接触的管壁上应布置栓钉，栓钉的直径规格不宜小于 19mm，其长度不宜小于 4 倍栓钉直径，水平和竖向间距不宜小于 6 倍栓钉直径且不宜大于 200mm。

【条文说明】在钢管外侧与混凝土墙体接触的管壁上布置栓钉，可大大增加钢管与混凝土墙体的黏结性能，以保证组合墙中的矩形钢管混凝土柱与墙波折钢板部分的混凝土协同工作。

6.2.3 矩形钢管-波折钢板组合墙混凝土墙体部分的配筋率不应小于 0.4%，分布钢筋间距不宜大于 300mm。

6.2.4 矩形钢管-波折钢板组合墙的波折钢板宜布置对拉钢筋，对拉钢筋的直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 600mm。

【条文说明】布置对拉钢筋可增加波折钢板抵抗在组合墙浇筑混凝土阶段产生平面外挤压的能力，减小面外变形，并在承载阶段对墙体混凝土提供一定面外约束作用。

7 节点设计

7.1 一般规定

7.1.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中的连接焊缝设计，应符合下列规定：

1 钢梁与钢柱的焊接，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 的有关规定，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 的有关规定；

2 钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙的焊接，焊缝质量等级可按钢梁与钢柱的连接焊缝要求，应符合第 1 款规定；

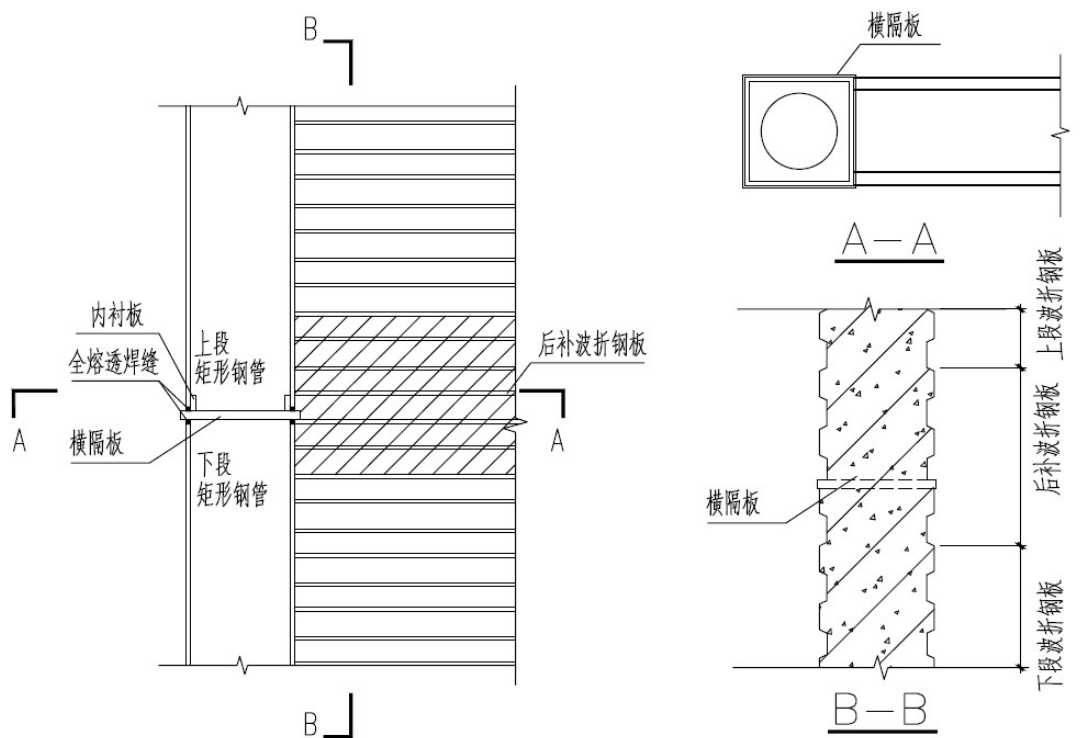
3 矩形钢管-波折钢板组合墙中矩形钢管的拼接焊接、波折钢板与矩形钢管的焊接、底部墙脚矩形钢管与底板的焊接应采用全熔透焊缝，焊缝质量等级应不低于二级；

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。

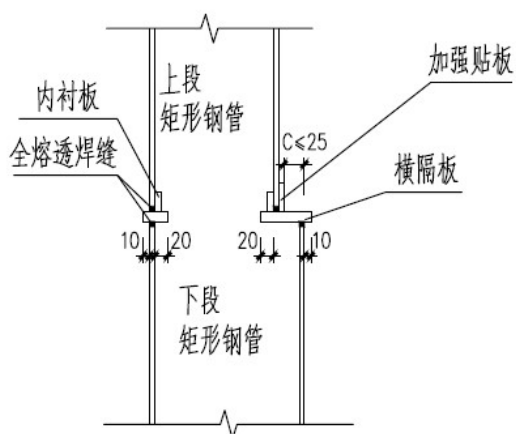
7.1.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中的螺栓连接，宜采用高强度螺栓摩擦型连接，并应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82 的有关规定。

7.2 矩形钢管-波折钢板组合墙的拼接节点

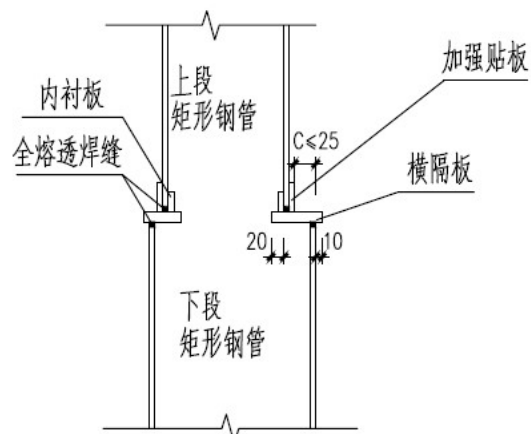
7.2.1 矩形钢管-波折钢板组合墙中的矩形钢管拼接（图 7.2.1）应符合下列规定：



(a)



(b)



(c)

图 7.2.1 矩形钢管-波折钢板组合墙拼接

1 矩形钢管可采用横隔板拼接，横隔板厚度不宜小于拼接钢管壁厚的较大值加 2mm，且不应小于 16mm；

2 横隔板中心部位宜设置混凝土浇筑孔，孔径不宜小于 100mm；

3 上、下段组合墙中的矩形钢管截面外轮廓尺寸不同时，可一侧管壁外侧对齐（图 7.2.1b）或中心轴线对齐（图 7.2.1c）；上、下段矩形钢管截面外轮廓差不应大于 25mm，且拼接横隔板厚度不应小于上、下段矩形钢管外轮廓差值。

【条文说明】根据工厂制造和运输要求，矩形钢管-波折钢板组合墙可按多个楼层分段制作和安装，矩形钢管采用横隔板可方便拼接。

7.2.2 矩形钢管-波折钢板组合墙拼接处的上段墙中波折钢板应预留不小于 200mm 高的洞口作为矩形钢管现场焊接的操作口；矩形钢管焊接拼接完成后，应对开口处后补波折钢板，后补波折钢板应与上下段组合墙的矩形钢管焊接连接，且后补波折钢板应与上下段组合墙的波折钢板搭接，开口型波折钢板搭接长度不宜小于 1 倍波长，闭口型波折钢板搭接长度不宜小于 2 倍波高。

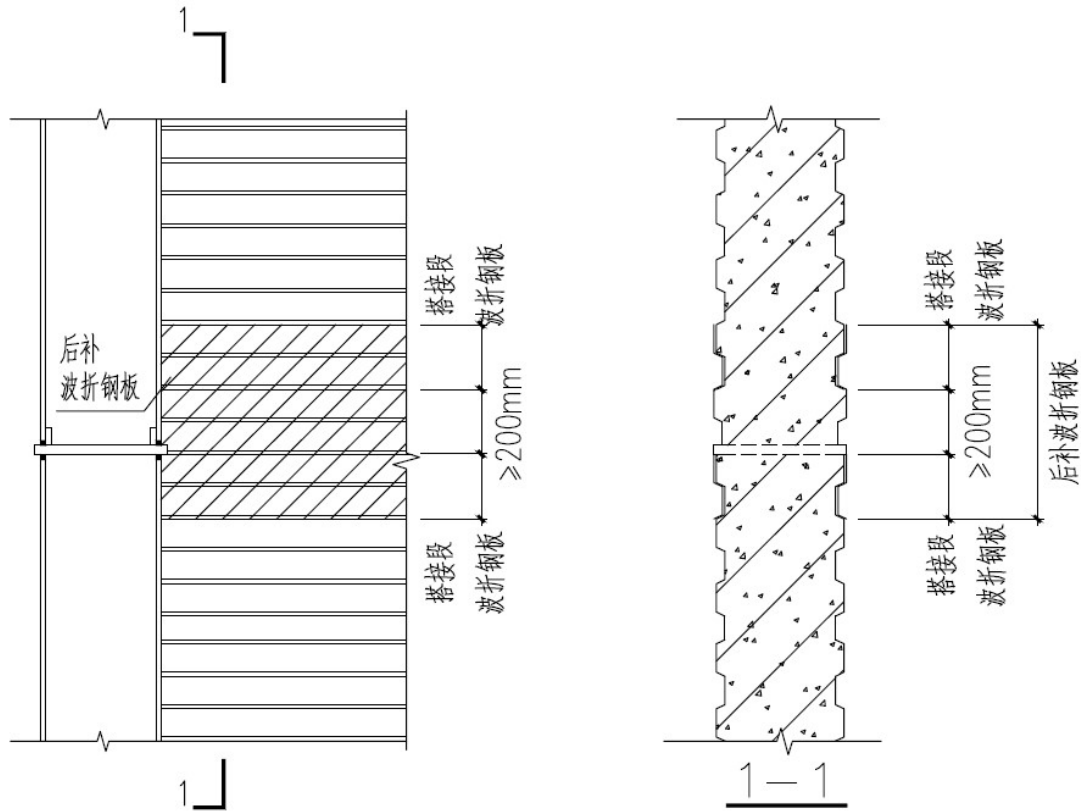


图 7.2.2 矩形钢管-波折钢板组合墙竖向拼接处后补波折钢板示意图

【条文说明】矩形钢管-波折钢板组合墙现场拼接时需要有操作空

间，矩形钢管-波折钢板组合墙在工厂制造阶段时留 200mm 宽的开口就是为了方便矩形钢管-波折钢板组合墙中的矩形钢管现场焊接拼接。矩形钢管拼接完成后，需封闭波折钢板上的开口以便现场浇筑混凝土。研究表明，矩形钢管-波折钢板组合墙拼接处的后补波折钢板不与上下段墙段波折钢板焊接而仅与墙中矩形钢管焊接，与完全连续的波折钢板的组合墙抗剪承载力接近。

7.2.3 矩形钢管-波折钢板组合墙拼接处墙体内竖向分布钢筋可采用搭接连接，搭接长度应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求。

7.3 矩形钢管-波折钢板组合墙墙脚节点

7.3.1 矩形钢管-波折钢板组合墙与基础的连接应保证连接承载力不低于组合墙的承载力设计值。

7.3.2 矩形钢管-波折钢板组合墙与基础连接时，矩形钢管混凝土柱可采用埋入式柱脚连接或非埋入式柱脚（7.3.2），矩形钢管混凝土柱柱脚内力设计值按下式计算，并应满足《组合结构设计规范》JGJ 138 中有关矩形钢管混凝土柱柱脚的设计要求。

$$N_{l1} = \frac{N_{bottom}}{2} \pm \frac{M_{bottom}}{d_0} \quad (7.3.2)$$

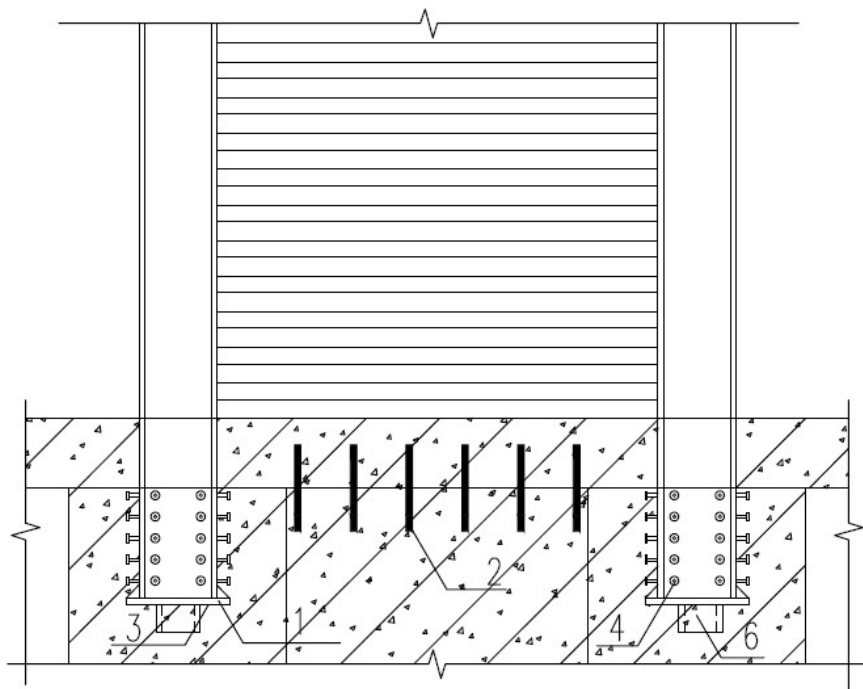
式中：

N_{l1} ——组合墙与基础连接处矩形钢管混凝土柱柱脚轴力设计值，受压为正，受拉为负；

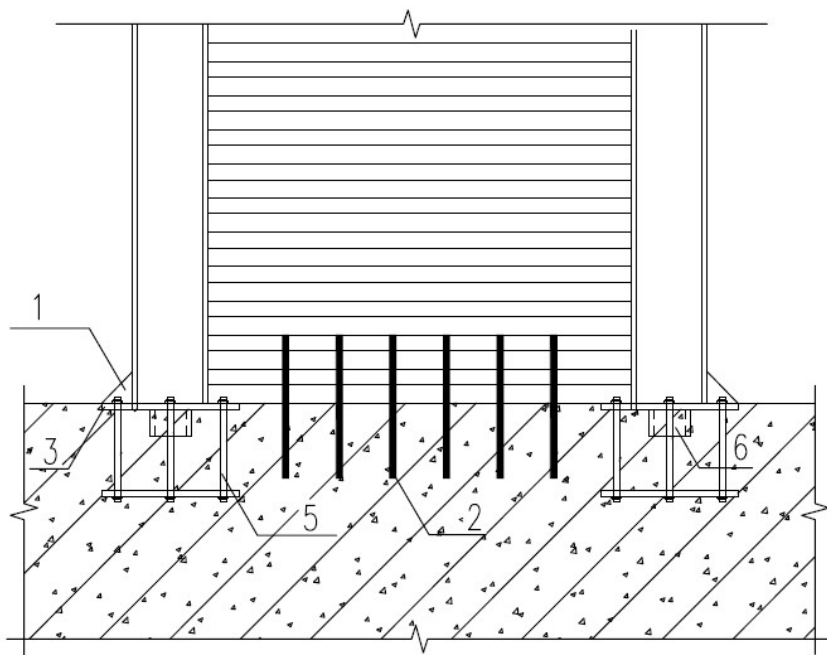
N_{bottom} ——组合墙与基础连接处轴力设计值，受压为正；

M_{bottom} ——组合墙与基础连接处弯矩设计值；

d_0 ——矩形钢管混凝土柱中心距。



(a) 埋入式墙脚



(b) 非埋入式墙脚

1—加劲肋；2—基础锚固钢筋；3—矩形环底板；4—栓钉；5—锚栓；6—抗剪键

图 7.3.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙墙脚节点

【条文说明】矩形钢管-波折钢板组合剪力墙与基础的连接，偏于保守假定由组合墙两端的矩形钢管混凝土柱承担基础之上墙体截面的全部轴力与弯矩。

7.3.3 矩形钢管-波折钢板组合墙与基础的连接应在基础中设置锚固钢筋，锚固钢筋配筋率应不小于组合墙中纵向钢筋的配筋率；锚固钢筋在基础内的锚固长度(l_a)应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关规定确定，锚固钢筋与组合墙中纵向受力钢筋的搭接长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关规定。

7.3.4 埋入式矩形钢管-波折钢板组合墙与基础连接满足 7.3.2 和 7.3.3 条的要求时，可不进行抗剪承载力验算。

【条文说明】埋入式矩形钢管-波折钢板组合墙与基础连接满足 7.3.2 和 7.3.3 条的要求时，其抗剪承载力不低于组合墙的承载力，因此无需验算。

7.3.5 非埋入式矩形钢管-波折钢板组合墙与基础连接抗剪承载力可按式 (7.3.5-1) 计算，其计算值应不小于组合墙基底荷载组合剪力效应设计值；当不满足上述要求时，组合墙应设置抗剪键，按式 (7.3.5-2) 计算矩形钢管-波折钢板组合墙与基础连接抗剪承载力，其计算值应不小于组合墙荷载组合剪力效应设计值。

$$V_u = V_{cf1} + 0.5f_t A_{cw} + f_{yh} \frac{A_{sv}}{s} l_{yh} + 0.6f_p A_p \quad (7.3.5-1)$$

$$V_u = V_{cf2} + 0.5f_t A_{cw} + f_{yh} \frac{A_{sv}}{s} l_{yh} + 0.6f_p A_p \quad (7.3.5-2)$$

式中：

V_u ——矩形钢管-波折钢板组合墙抗剪承载力；

V_{cf1} ——矩形钢管混凝土柱底板与混凝土基础之间的摩擦力，摩擦系数取 0.4，摩擦力对应的竖向压力按式 7.3.2 计算；

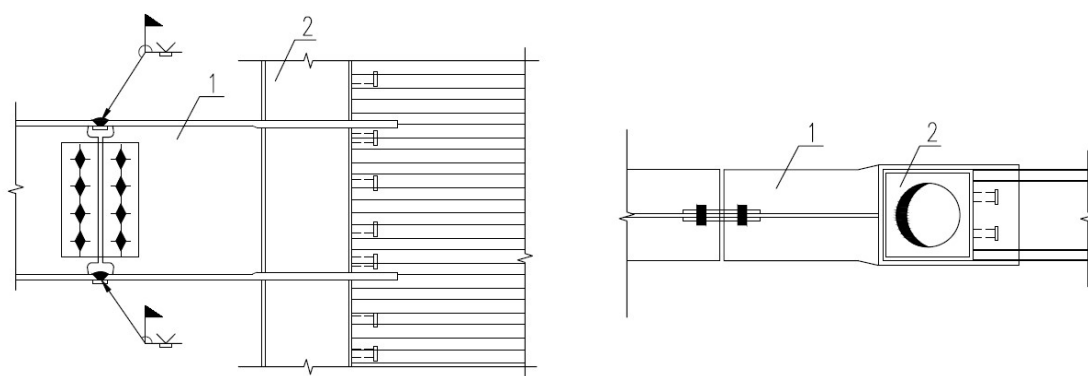
V_{cf2} ——抗剪键抗剪承载力；

【条文说明】矩形钢管-波折钢板组合墙与基础连接处的剪力由矩形钢管混凝土柱底板的摩擦力与中间墙体共同承担。

7.4 钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙的连接节点

7.4.1 钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙的刚性连接，抗弯承载力设计值不应小于钢梁的抗弯承载力设计值，极限抗弯承载力应大于钢梁的塑性抗弯承载力。

7.4.2 钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙的刚性连接节点，宜采用隔板贯通式刚性连接节点形式(图 7.4.2)，并在工厂制作设置牛腿，牛腿与矩形钢管宜焊接。钢梁与牛腿的拼接应采用刚性连接，并符合《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。



1—牛腿； 2—矩形钢管

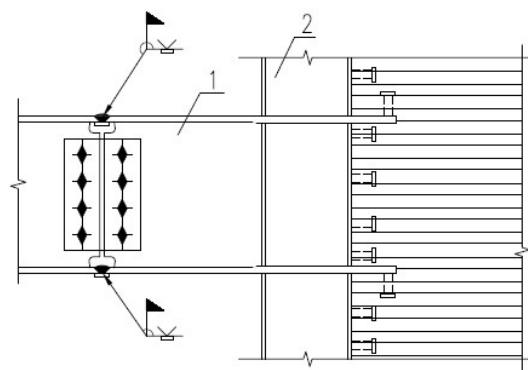
图 7.4.2 钢梁-组合墙隔板贯通式刚接节点

7.4.3 钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙采用刚性连接时，在连接节点区两倍梁高范围内，矩形钢管与墙的界面沿墙厚方向应布置 2 列竖向布置的栓钉，栓钉水平和竖向间距均不宜大于 150mm。

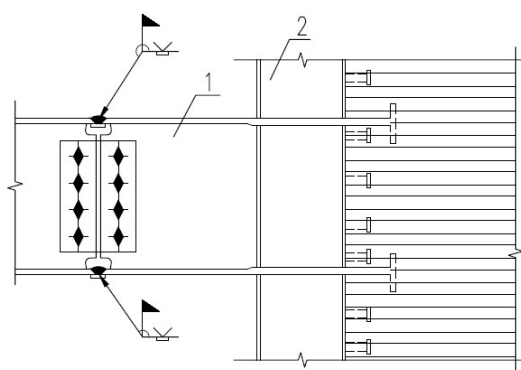
【条文说明】为保证节点区矩形钢管混凝土柱钢管管壁与中心墙体的协同工作性能，应加密节点范围内栓钉。另一方面，为了保证隔板贯通式节点与中间墙体的协同工作性能，应对伸入墙体的隔板采取适当的锚固措施，如在伸入墙体的隔板端部设置栓钉或端板。

7.4.4 钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙采用隔板贯通式刚性连接节点

时，隔板可延伸至混凝土墙内，并在延伸至混凝土墙内的隔板上采用设置栓钉（图 7.4.4a）或隔板端部设置 T 型件（图 7.4.4b）的锚固加强措施。



(a) 隔板上设栓钉

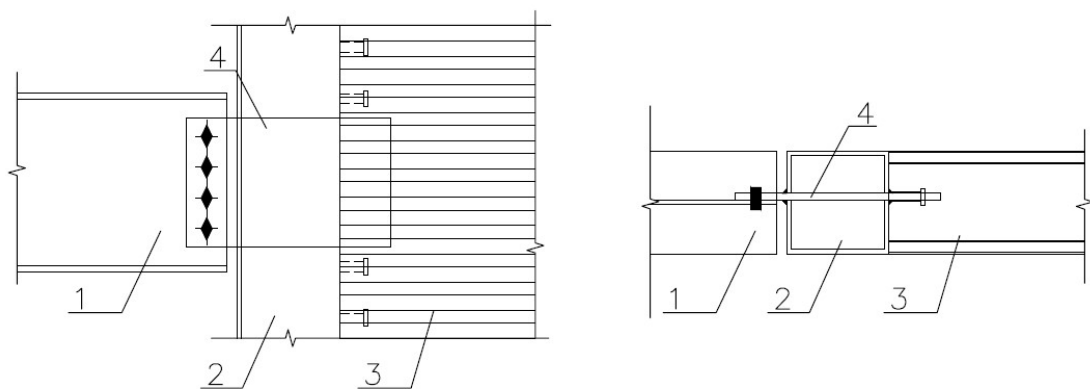


(b) 隔板端部设 T 型件

图 7.4.4 钢梁-组合墙贯通式隔板的锚固加强措施

【条文说明】对于钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙采用隔板贯通式刚性连接节点，将隔板可延伸至混凝土墙内并采取锚固加强措施，可进一步加强矩形钢管混凝土与混凝土墙的协同工作，矩形钢管-波折钢板组合墙成为一个整体抵抗钢梁通过刚性节点传递来的弯矩。

7.4.5 钢梁与矩形钢管-波折钢板组合墙铰接连接时，宜采用贯穿式连接板的节点形式（图 7.4.5）。



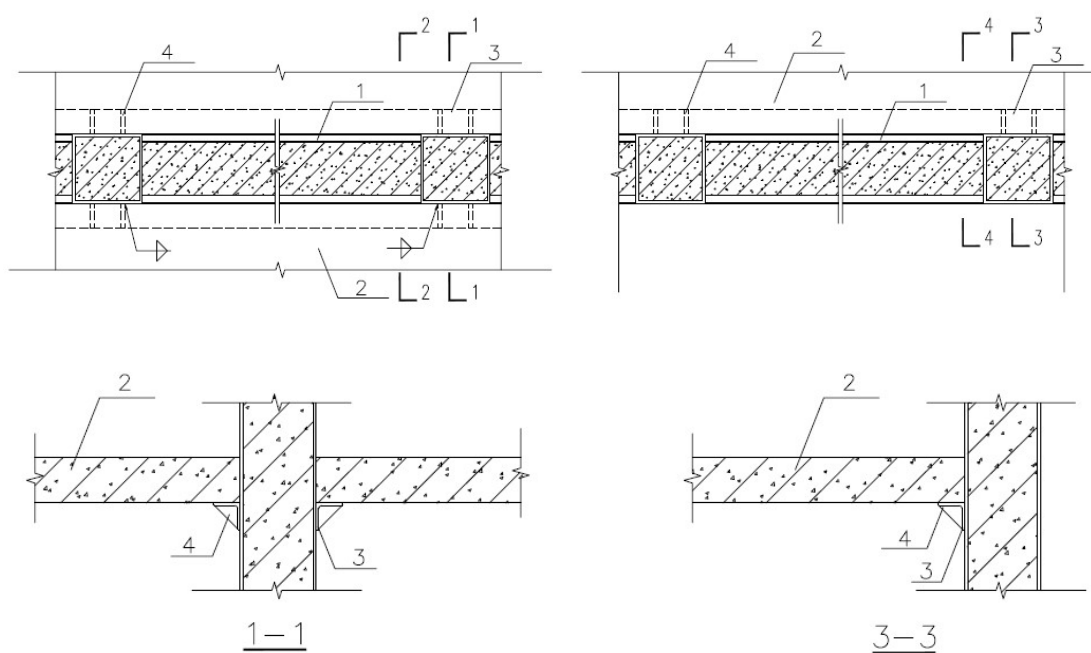
1--钢梁； 2—矩形钢管； 3—墙肢； 4—贯穿式连接板

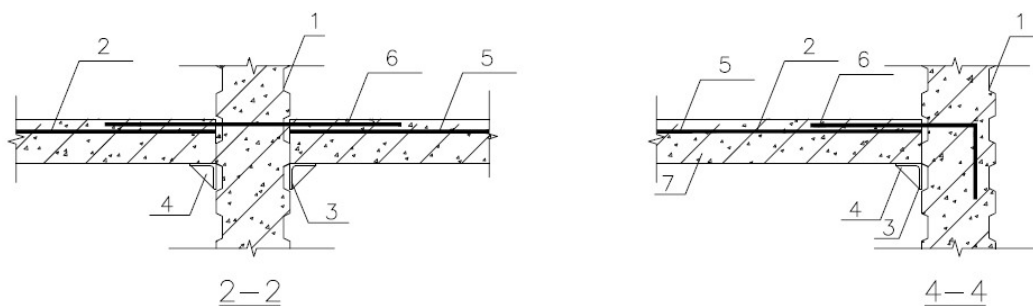
图 7.4.5 钢梁-组合墙铰接节点

7.5 楼板与矩形钢管-波折钢板组合墙的连接

7.5.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构宜采用预制混凝土叠合楼板或钢筋桁架现浇混凝土楼板。

7.5.2 楼板应支承在与组合墙中矩形钢管相连接的角钢上（图 7.5.2），楼板上层应设支座钢筋与组合墙相连，支座钢筋深入楼板内长度或混凝土墙内的长度应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 的有关钢筋锚固和搭接长度的规定。





(a) 矩形钢管作为楼板的中支座

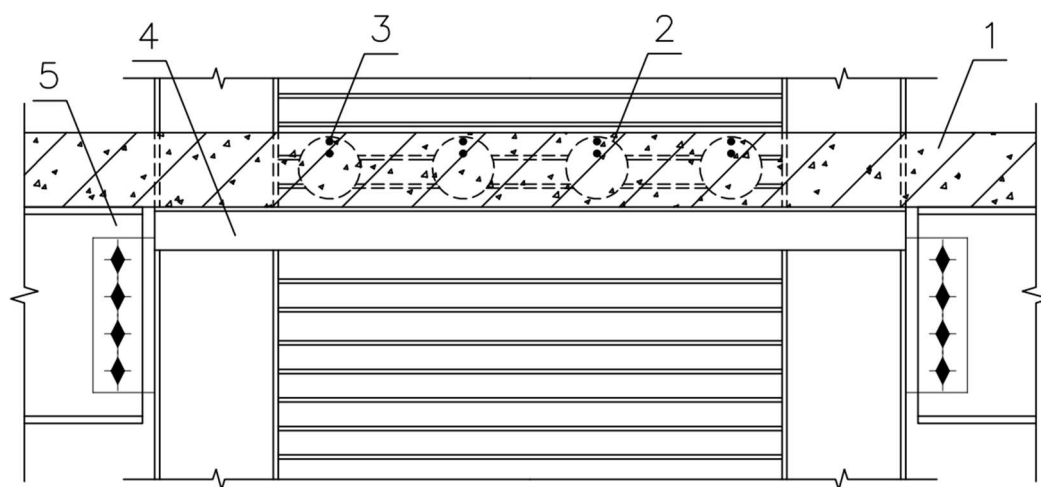
(b) 矩形钢管作为楼板的边支座

1—波折钢板；2—楼板；3—连接角钢；4—加劲肋；

5—楼板上层钢筋；6—支座钢筋

图 7.5.2 楼板与矩形钢管-波折钢板组合墙的连接节点

7.5.3 在楼板与矩形钢管-波折钢板组合墙连接位置处的波折钢板上应开设洞口，以便支座钢筋的穿越施工（图 7.5.3）。洞口的直径不应超过楼板现浇部分的厚度，且洞口间的净距不应小于洞口直径。



1—楼板；2—波折钢板上开洞；3—支座钢筋；4—连接角钢；5—钢梁；

图 7.5.3 楼板与矩形钢管-波折钢板组合墙连接节点开洞示意图

【条文说明】为便于在楼板与矩形钢管-波折钢板组合墙连接位置处的支座钢筋的穿越施工，可在波折钢板上开较大的洞口。研究表明，波折钢板开洞尺寸对矩形钢管-波折钢板组合墙截面抗剪承载力影响较小。

7.5.4 在楼板外角处、凹角部位等温度、收缩应力较大的区域，宜在楼板上表面双向配置防裂构造钢筋。

8 防护设计

8.1 防腐保护设计

8.1.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中的钢构件应采用喷射或抛丸除锈，除锈等级应大于 Sa2。不易维修的重要构件的除锈等级不应低于 Sa2¹/₂，富锌底漆的除锈等级不应低于 Sa2¹/₂。

8.1.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中的钢构可按照现行团体标准《民用建筑钢结构防腐蚀技术规程》T/CSCS TCXX XX 进行件防腐蚀设计。

8.1.3 矩形钢管-波折钢板组合墙的波折钢板应采用镀锌板，其防腐蚀保护层厚度不应小于 140 μm ；卫生间、厨房、浴室、游泳池等室内用水房间部位的防腐蚀保护层厚度不应小于 200 μm 。

8.1.4 建筑内部不应有外露钢结构。

8.1.5 室内环境下，钢结构构件表面采用防火涂料、水泥砂浆、无机保温砂浆、轻质底层抹灰石膏、砌筑砌体进行防火保护时，可不使用面涂层。

8.1.6 室内用水房间部位的矩形钢管-波折钢板组合墙墙面，应符合下列规定：

- 1 墙面应设置厚度不小于 30 mm 的水泥砂浆；
- 2 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，厚度不应小于 30mm；
- 3 防火保护层表面宜采用防水砂浆。

8.1.7 矩形钢管-波折钢板组合墙直接埋置土壤时，两侧宜外包钢筋混凝土，厚度不应小于 100 mm。

8.1.8 底层矩形钢管-波折钢板组合墙外墙的外侧宜采用细石混凝土、

水泥砂浆等措施进行包覆，包覆高度应伸出室外地面，且不宜小于 150mm，包覆厚度不宜小于 30mm。

8.2 防火保护设计

8.2.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中的钢构件和矩形钢管混凝土构件，应进行防火保护设计。采用的防火保护材料和厚度，应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249、《钢结构防火涂料》GB 14907 的规定。

8.2.2 矩形钢管-波折钢板组合墙的波折钢板可不进行防火保护。

【条文说明】矩形钢管-波折钢板组合墙的波折钢板不承担重力荷载，故可以不做防火涂装保护。

8.2.3 地下室部分的矩形钢管-波折钢板组合墙的矩形钢管，宜采用水泥砂浆进行防火保护。

9 制作和安装

9.1 一般规定

9.1.1 钢板、钢带、矩形钢管、H 型钢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和设计要求。

9.1.2 矩形钢管-波折钢板组合墙的钢结构部分应在工厂制作，混凝土部分宜在工地现浇。

9.1.3 矩形钢管-波折钢板组合墙的钢结构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 减少薄钢板焊接变形措施；
- 3 控制出厂构件几何尺寸的措施；
- 4 钢结构防腐工艺及要求；
- 5 构件出厂运输及成品保护措施。

9.1.4 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构现场安装施工前，施工单位应编制专项施工方案。施工方案应包含下列内容：

- 1 季节性施工技术措施；
- 2 受大风或其他水平荷载影响的固定措施。

9.1.5 矩形钢管-波折钢板组合墙内混凝土的冬期施工应符合现行国家行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104 的有关规定。

9.2 矩形钢管-波折钢板构件的制作与安装

9.2.1 矩形钢管-波折钢板构件在制作前应根据设计文件绘制制作详图。制作详图应根据制作方案的要求、制作厂的生产条件、现场安

装施工条件等确定矩形钢管-波折钢板构件的出厂分段和工地拼装节点位置。

9.2.2 矩形钢管-波折钢板构件组装应在各零、部件检查合格后进行。矩形钢管-波折钢板构件的除锈和涂装应在制作质量检验合格后进行。

9.2.3 矩形钢管-波折钢板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要求。

9.2.4 矩形钢管-波折钢板构件制作完毕后应清除腔体内的杂物，并保持腔体内清洁。

9.2.5 矩形钢管-波折钢板构件安装现场应设置构件堆场，并应采取防止构件变形及表面污染的保护措施。

9.2.6 矩形钢管-波折钢板构件吊装前应检查腔体内情况，并清除腔体内杂物。

9.2.7 矩形钢管-波折钢板构件安装作业时，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，在构件吊装就位后直同步进行校正。

9.2.8 矩形钢管-波折钢板构件安装时，每段矩形钢管-波折钢板构件的定位轴线应从地面控制轴线直接引上，不得从下层的轴线引上。竖向投测转点间距宜为 50 m~80m。

9.2.9 当天安装完成的矩形钢管-波折钢板构件应形成稳固的空间结构单元，必要时应增加临时支撑结构措施。

9.2.10 安装矩形钢管-波折钢板构件时，已安装施工完成的下段矩形钢管-波折钢板组合墙内混凝土的强度不应小于设计强度的 50 %。

9.2.11 上、下段矩形钢管-波折钢板构件现场拼接时，宜采用可拆卸式耳板临时固定波折钢板组合剪力墙，并应符合下列规定：

1 应进行安装耳板的设计，设计风压取值不应低于 $0.2kN/m^2$ ；

2 应在每片矩形钢管-波折钢板构件的每个矩形钢管上至少布置一对耳板。

9.2.12 矩形钢管-波折钢板构件安装时，焊接应在主体结构校正完成后进行。

9.2.13 矩形钢管-波折钢板构件安装时，矩形钢管拼接焊缝质量等级应符合设计要求。

9.2.14 矩形钢管-波折钢板构件的焊接经检验合格后应补漆。

9.3 矩形钢管-波折钢板组合墙的混凝土浇筑

9.3.1 矩形钢管-波折钢板组合墙内混凝土宜采用自密实混凝土，粗骨料最大公称粒径不应大于 20mm，坍扩展度宜为 550mm~655mm。施工前应进行配合比设计，并应进行现场浇筑工艺试验，浇筑方法应与结构形式相适应。

9.3.2 矩形钢管-波折钢板组合墙内混凝土浇筑应待本施工段钢结构构件全部安装施工完成后进行。

9.3.3 每段矩形钢管-波折钢板组合墙内混凝土应连续浇筑，浇筑面距矩形钢管-波折钢板构件顶端的距离宜为 300 mm~500mm。结构顶部矩形钢管-波折钢板组合墙浇筑完毕后，间隔 24 小时后应检查，当出现混凝土下沉时，应进行补浆。

9.3.4 每段矩形钢管-波折钢板组合墙的混凝土浇筑应从上向下浇筑。最大倾落高度不宜大于 9m，当倾落高度大于 9m 时，宜采用辅助装置进行浇筑。

9.3.5 每段矩形钢管-波折钢板组合墙混凝土浇筑完毕后，应对该段结构进行临时封闭。

9.3.6 矩形钢管-波折钢板组合墙的混凝土浇筑质量，可采用敲击钢管和波折钢板的方法进行初步检查。当有异常时，可采用超声波等方法进一步进行检测。对浇筑不密实部位，可采用钻孔压浆法进行补

浆，补浆完成后应将钻孔补焊封固。

9.3.7 矩形钢管-波折钢板组合墙内混凝土的取样与试件留置应符合国家现行标准《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 的有关要求，并应符合下列规定：

- 1 每一矩形钢管-波折钢板组合墙段、同一配合比的混凝土，取样不得少于一次；
- 2 当一段矩形钢管-波折钢板组合墙段内混凝土用量超过 $100m^3$ 时，同配合比的混凝土每 $100m^3$ 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，同条件养护试件留置组数应根据实际需要确定。

10 验收

10.1 一般规定

10.1.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构工程的验收，应分成钢构件工厂制作验收和现场安装施工验收两部分进行。

10.1.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构工程现场安装施工验收，可按建筑楼层或组合墙安装施工段划分为一个或若干个检验批。

10.2 原材料及成品进场

I. 主控项目

10.2.1 钢板、钢带、矩形管、H型钢及焊接材料的品种、规格、性能等应符合现行国家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。

10.2.2 钢材和成品矩形钢管进厂后，应按照现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的相关规定进行抽样复验。

检查数量：按照现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定频次进行抽样复验。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

10.2.3 焊接材料应按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》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。

检查数量：按照国家标准《钢结构施工规范》GB 50755 第 5.3.2 条规定的频次。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

II. 一般项目

10.2.4 钢板和钢带的厚度及允许偏差应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 的有关规定。

检查数量：每批同一品种、规格的钢板抽检 10%(每批钢卷均 100%检查)，且不少于 3 张(卷)，每张(卷)检测 5 处。

检验方法：用游标卡尺量测或超声波测厚仪量测。

10.2.5 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。

10.2.6 钢板不平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。

10.2.7 制作槽钢的钢卷板展开后任意长度段内两边的纵向弯曲度不应大于 $L/1000$ 以及 10mm，并应符合其产品标准。L 为钢卷展开的被检测长度。

检查数量：每一批次钢卷板抽检 10%，且不少于 3 张，每张检测 3 处。

检验方法：拉线、钢尺量测。

10.2.8 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，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 钢材表面锈蚀等级应达到现行国家标准《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 C 级及以上；

3 钢材端部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。

10.2.9 矩形钢管、H 型钢截面尺寸、厚度及允许偏差应符合其产品标准的要求。

检查数量：每批同一品种、规格的钢管、H 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。

10.3 零部件加工工程

I. 主控项目

10.3.1 碳素结构钢在环境温度低于-16℃，低合金结构钢在环境温度低于-12℃时，不应进行冷矫正和冷弯曲。

检验数量：全数检查。

检验方法：检查制作工艺报告和施工记录。

10.3.2 矩形钢管-波折钢板构件焊后允许偏差应符合相关规定。

检查数量：按批次抽查 10%，且不少于 3 件。

检查方法：钢尺。

10.3.3 预埋件尺寸的制作允许偏差应符合相关规定。

检查数量：抽查数量 10%，且不应少于 3 个。

检验方法：钢尺。

II. 一般项目

10.3.4 波折钢板成型后的允许偏差，应符合相关规定。

检验数量：按批次抽查 10%，且不少于 3 件。

检验方法：钢尺。

10.4 焊接工程

I. 主控项目

10.4.1 焊接材料与母材的匹配应符合设计文件的要求及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定。焊接材料在使用前，应按其产品说明书及焊接工艺文件的规定烘培和存放。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量证明书和烘培记录。

10.4.2 焊工必须经考试合格并取得合格证书，焊工必须在其考试合格项目及其认可范围内施焊。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查焊工合格证及其认可范围、有效期。

10.4.3 应按现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 及《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定进行焊接工艺评定，根据评定报告确定焊接工艺，编写焊接工艺规程并应遵照执行。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查焊接工艺评定报告、焊接工艺规程和焊接作业记录。

10.4.4 全熔透的一、二级焊缝应按国家现行标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构超声波探伤及质量分级法》G/T 203 的要求进行无损检测。

检查数量：按规范要求执行。

检验方法：检查超声波探伤记录。

10.4.5 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规范》GB 50205 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。

10.4.6 焊缝表面不得有裂纹、焊瘤等缺陷。一级、二级焊缝不得有表面气孔、夹渣、弧坑裂纹、电弧擦伤等缺陷。且一级焊缝不得有咬边、未焊满、根部收缩等缺陷。

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，每一类型焊缝按条数抽查 5%，且不应少于 1 条；每条检查 1 处，总抽查数不应少于 10 处。

检验方法：观察检查或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查，当存在疑义时，采用和渗透或磁粉探伤检查。

II. 一般项目

10.4.7 焊缝外观质量应符合《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定。

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，每一类型焊缝按条数抽查 5%，且不应少于 1 条；每条抽查 1 处，总抽查数不应少于 10 处。

检验方法：观察检查或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查。

10.4.8 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，其表面不得出现切痕。

检查数量：每批同类构件抽查 10%，且不应少于 3 件。

检验方法：观察检查。

10.4.9 焊缝感观应外形均匀、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%，总抽查数不应少于 5 处。

检验方法：观察检查。

10.5 钢结构安装工程

I. 主控项目

10.5.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的钢构件进场应验收，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。

10.5.2 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的钢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。

10.5.3 矩形钢管-波折钢板构件上的连接板、吊装耳板、加劲肋、钢筋孔的规格、位置和数量应符合设计要求。

检查数量：同批构件抽查 10%，且不少于 3 件。

检验方法：尺量检查、观察检查及检查出厂验收记录。

10.5.4 基础上钢构件的定位轴线和标高应符合设计要求。

检查数量：按矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构中钢构件的基础数抽 10%，且不少于 3 处。

检验方法：采用经纬仪、水准仪、全站仪和钢尺实测。

II. 一般项目

10.5.5 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的钢构件不应出现变形、脱漆等现象。

检查数量：同批构件抽查 10%，且不少于 3 件。

检验方法：尺量检查、观察检查。

10.5.6 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的钢构件表面应干净，主要表面不应有疤痕、泥沙等污垢。

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。

10.5.7 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的钢构件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。

10.6 混凝土工程

I. 主控项目

10.6.1 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的混凝土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。

10.6.2 每段矩形钢管-波折钢板组合墙内的混凝土应连续浇筑，当必须间歇时，间歇时间不得超过混凝土的初凝时间。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

10.6.3 矩形钢管-波折钢板组合墙内的混凝土浇筑应密实。

检查数量：全数检查。

检验方法：敲击进行检查。

10.6.4 矩形钢管-波折钢板组合墙内的插筋规格、数量、性能应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、钢尺量测。

10.6.5 矩形钢管-波折钢板组合剪力墙结构的混凝土楼板插筋规格、数量、性能应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、钢尺量测

II. 一般项目

10.6.6 矩形钢管-波折钢板组合墙内混凝土浇筑面与对接接口距离不应小于 300mm。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、尺量检查，检查施工记录。

10.6.7 矩形钢管-波折钢板组合墙内混凝土浇筑方法及浇灌孔、排气孔的留置应符合设计及专项施工方案的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

10.6.8 矩形钢管-波折钢板组合墙浇筑混凝土前，应对矩形钢管-波折钢板构件安装质量检查确认，并应清理矩形钢管-波折钢板构件内积水及腔内杂物；混凝土浇筑完成后应对浇筑端口进行临时封闭。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

附录 A 波折钢板推荐波形及平面外刚度验算

A.0.1 开口型波折钢板形状可按下列波形采用。

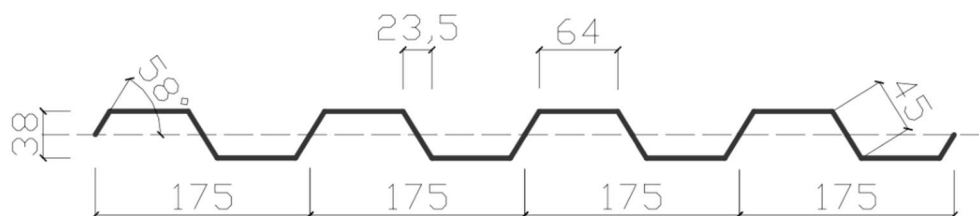


图 A.0.1-1 推荐波形 1

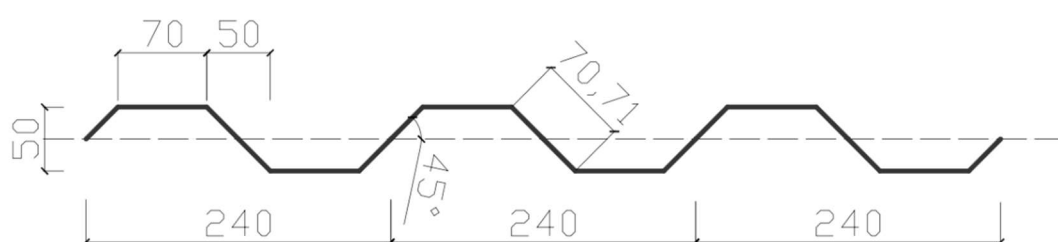


图 A.0.1-2 推荐波形 2

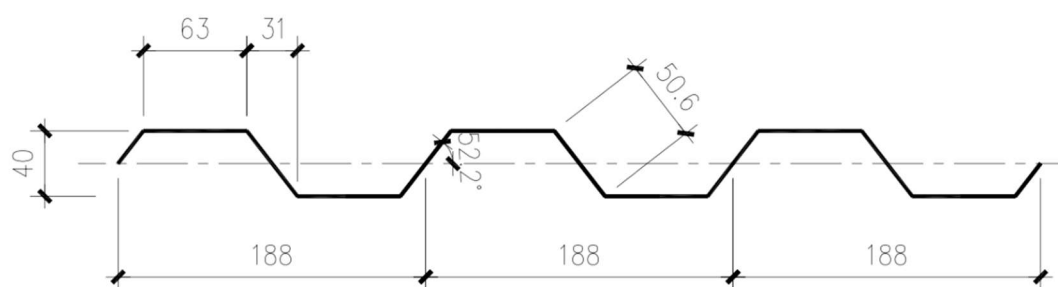


图 A.0.1-3 推荐波形 3

【条文说明】开口型波折钢板形状可按《波纹腹板钢结构技术规程》CECS 291:2011 中附录 A 推荐波纹腹板波形采用

A.0.2 闭口型波折钢板肋间距、覆面宽度、搭接宽度之间的比列可按《闭口型压型金属板》JGT 363:2012 推荐的 BY46-200-600、BY52-200-600、BY63-185-555、BY65-170-510、BY66-240-720 采用。

【条文说明】闭口型波折钢板形状可按《闭口型压型金属板》JGT 363:2012 中附录 D 常用板型采用。由闭口型波折钢板的型号可知其

截面尺寸。闭口型波折钢板的型号命名规则如下。

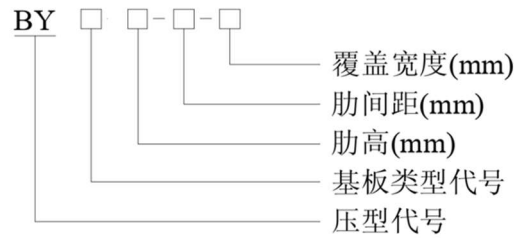
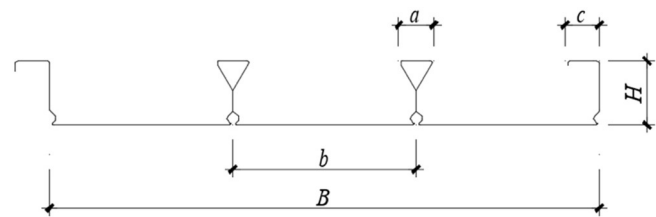


图.A.0.2-1 闭口波折钢板型号命名规则



说明：
 a ——肋宽；
 b ——肋间距（波距）；
 c ——搭接宽度；
 H ——截面高度（肋高）；
 B ——覆盖宽度。

图 A.0.2-2 闭口波折钢板截面形状

A.0.3 矩形钢管-波折钢板组合墙中的波折钢板尺寸应考虑新浇混凝土时产生的侧压力，按现行国家行业标准《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162 中混凝土作用于模板的最大侧压力的下列公式计算，并取其中的较小值。

$$F = 0.22\gamma_c t \beta_{c1} \beta_{c2} \sqrt{v} \tag{A.3-1}$$

$$F = \gamma_c H_c \tag{A.3-2}$$

式中：

- F ——新浇混凝土对模板的最大侧压力(kN / m^2)；
- γ_c ——混凝土的重力密度(kN / m^3)；
- v ——混凝土的浇筑速度 m / h ；
- t_0 ——新浇混凝土的初凝时间(h)，可按试验确定。当缺乏试验

资料时，可采用 $t_0 = 200 / (T + 15)$ (T 为混凝土的温度 $^{\circ}\text{C}$)；

β_{c1} ——外加剂影响修正系数。不掺外加剂时取 1.0，掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2；

β_{c2} ——混凝土坍落度影响修正系数。当坍落度小于 30mm 时，取 0.85；坍落度为 50~90mm 时，取 1.00；坍落度为 110~150mm 时，取 1.15；

H_c ——混凝土侧压力计算位置处至新浇混凝土顶面的总高度 (m)。

A.0.4 组合墙波折钢板在新浇混凝土侧压力作用下的挠度，可取波折钢板单个周期宽度按照简支梁计算。

$$u = \frac{5Fd_{cp}l_{cp}^2}{384E_{cp}I_{cp}} \quad (\text{A.4})$$

式中：

u ——波折钢板在混凝土侧压力下产生的挠度；

d_{cp} ——单个周期波折钢板的宽度；

l_{cp} ——计算长度，当波折钢板布置对拉钢筋时，取相邻对拉钢筋墙宽方向的中心距；未布置对拉钢筋时，取矩形钢管净距；

$E_{cp}I_{cp}$ ——单个周期波折钢板的弯曲刚度。

A.0.5 组合墙波折钢板在混凝土侧压力下产生的挠度，应满足下式要求

$$u \leq l_c / 400 \quad (\text{A.5})$$

式中：

l_c ——矩形钢管净距。

【条文说明】本条规定参考《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162 中对于结构表面外露模板的变形值规定。

引用标准名录

- 1 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》 GB/T 10433
- 2 《钢结构防火涂料》 GB 14907
- 3 《钢结构工程施工规范》 GB 50755
- 4 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 5 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 6 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 7 《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》 GB/T 1499.2
- 8 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 9 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 10 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 11 《建筑钢结构防火技术规范》 GB 51249
- 12 《建筑工程抗震设防分类标准》 GB50223
- 13 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 14 《建筑构件耐火试验方法》 GB/ T 9978
- 15 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 16 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 17 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 18 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB 50018
- 19 《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》 GB/T 709
- 20 《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定》 GB/T 8923

-
- 21 《钢板剪力墙技术规程》 JGJ/T 380
 - 22 《钢结构超声波探伤及质量分级法》 JGJ/T 203
 - 23 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82
 - 24 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
 - 25 《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99
 - 26 《建筑钢结构防腐技术规程》 JGJ/T 251
 - 27 《建筑工程冬期施工规程》 JGJ 104
 - 28 《建筑施工模板安全技术规范》 JGJ 162
 - 29 《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T 283
 - 30 《组合结构设计规范》 JGJ 138
 - 31 《波纹腹板钢结构技术规程》 CECS 291
 - 32 《钢管混凝土束结构技术标准》 T/CECS 546
 - 33 《民用建筑钢结构防腐蚀技术规程》 T/CSCS TCXX XX