

不同截面冷弯薄壁型钢组合墙受剪性能

韩立红, 刘永国

(青岛理工大学 管理工程学院, 山东 青岛 266520)

摘要: 为了保证结构在遭受风荷载、地震等水平力作用时具有足够的承载能力, 研究了不同截面冷弯薄壁型钢组合墙受剪性能。确定制备冷弯薄壁型钢组合墙各材料的基本参数, 制备矩形截面、U 型截面和 Z 型截面 3 种冷弯薄壁型钢组合墙试验样品, 分别测试各个试验样品在加载的剪切荷载下的位移、裂缝变化, 监测试验样品的极限荷载与破坏荷载, 验证各个试验样品的承载力退化变化, 分析螺钉间距、型钢厚度与间距对样品的抗剪性影响。试验结果显示: 相比于另两种截面, Z 型截面冷弯薄壁型钢组合墙受荷载影响位移变化最小, 裂缝出现较短; 当螺钉间距为 150 mm、型钢厚度为 50 mm、立柱间距为 60 mm 时, 组合墙的受剪性能最佳。

关键词: 冷弯薄壁型钢; 组合墙; 受剪性能; U 型截面; Z 型截面; 矩形截面

中图分类号: TU391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2025)10-3221-07

DOI: 10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20240875

Shear performance of cold-formed thin-wall composite steel walls with different sections

HAN Li-hong, LIU Yong-guo

(School of Management and Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

Abstract: In order to ensure that the structure has sufficient bearing capacity under horizontal forces such as wind loads and earthquakes, the shear performance of cold-formed thin-walled steel composite walls with different cross-sections is studied. Determine the basic parameters of materials for preparing cold-formed thin-walled steel composite walls, prepare three types of cold-formed thin-walled steel composite wall test samples: rectangular section, U-shaped section, and Z-section. Test the displacement and crack changes of each test sample under the loaded shear load, monitor the ultimate load and failure load of the test sample, verify the degradation changes of the bearing capacity of each test sample, and analyze the influence of screw spacing, steel thickness, and spacing on the shear resistance of the sample. The experimental results show that compared to the other two types of sections, the Z-shaped section cold-formed thin-walled steel composite wall has the smallest displacement change under load and shorter crack occurrence. When the screw spacing is 150 mm, the steel thickness is 50 mm, and the spacing is 60 mm, the shear performance of the composite wall is optimal.

Key words: cold-formed thin-wall steel; composite wall; shear performance; U-shaped section; Z-section; rectangular section

收稿日期: 2024-08-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71874123).

作者简介: 韩立红(1975-), 女, 副教授, 博士. 研究方向: 管理科学与工程. E-mail: 901020020006@qut.edu.cn

0 引言

冷弯薄壁型钢组合墙作为一种轻质、高强度的建筑结构形式,因其独特的性能优势在建筑行业得到了广泛关注和应用,尤其在低层住宅建筑中,冷弯薄壁型钢组合墙不仅具有轻质、节材、节能、设计周期短、建筑耐久性好、环保以及易于工业化生产等优点,还展现出良好的抗震性能^[1]。冷弯薄壁型钢组合墙主要由冷弯薄壁型钢龙骨、覆面板以及连接件组成,其受力性能对整个结构的抗震性能至关重要。矩形截面是最常见的冷弯薄壁型钢截面形式,其受力性能稳定,制作简单,但是在特定工况下,矩形截面会存在局部屈曲的问题^[2];C型截面通过增加腹板的厚度和高度,提高了截面的抗弯刚度和抗剪承载力^[3-5],适用于承受较大荷载的墙体;Z型截面在C型截面的基础上进行了改进,通过增加翼缘的数量和厚度,进一步提高了截面的抗剪承载力和稳定性。

国内外学者围绕不同截面形式的冷弯薄壁型钢组合墙进行了大量研究,以探索其受剪性能的影响因素及优化方法。这些研究不仅有助于完善相关设计规范和标准,还能为实际工程应用提供理论支持和技术指导。其中,刘朋等^[6]分析组合墙的墙体结构对整个墙体滞回性能的影响,确定墙体内侧添加石膏板可提高墙体刚度,且该墙体结构承载力较强,能耗较低,但是在滞回性能试验中,双片 OSB 覆面冷弯薄壁型钢墙体的承载力和刚度在经历多次循环加载后会出现明显的退化,主要是由于墙体内部材料在反复荷载作用下发生疲劳损伤,导致整体结构性能下降。Kumar 等^[7]使用遗传算法、灰狼优化算法确定建筑墙体结构在外力作用下的位移与剪切应力,虽然该研究使用大量计算验证建筑结构的稳定性与抗震性,但是研究所使用的模型建立了大量假设与简化,导致模型计算缺乏适应性,影响最终模拟计算效果。李红现等^[8]的研究对象为混凝土组合墙体,同时在该墙体中添加发泡聚苯乙烯和静力往复荷载,验证该荷载下墙体结构的应变与受压情况,确定该结构受力性能较为良好,材料具有较多优点,但该研究主要关注了受力性能方面的评估,缺乏对结构安全性的分析。王威等^[9]研究剪力墙截面性能,并使用模型模拟测试该墙体的各项数值变化以及曲率变化,该结构能够减轻墙体结构的损伤,但是钢板与混凝土之间的界面行为对组合剪力墙

的整体性能有重要影响,包括界面的黏结强度、滑移性能等,这些界面行为的复杂性和不确定性给研究带来了挑战。

本文研究不同截面冷弯薄壁型钢组合墙受剪性能,分析多种截面冷弯薄壁型钢组合墙,研究结果可为今后建筑结构性能的提升提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验样品参数及制备

冷弯薄壁型钢组合墙各方面性能较为优越,应用较为普遍,但是不同截面的冷弯薄壁型钢组合墙应用效果各不相同,因此,有必要分析矩形截面、U型截面和Z型截面3种冷弯薄壁型钢组合墙的受剪性能^[10]。以这3种不同截面的组合墙为研究对象,分别制备试验样品。

1.1.1 材料基本参数

组合墙选择的钢板材料为 Q235B 镀锌钢板,该钢板在制备过程中经过多次冷加工,因此,具有较为可观的屈服强度,轧制过程^[11]中参考 GB/T 228.1—2010 标准。制备墙体结构时将该钢板裁成不同截面。

在制备试验样品之前先对冷弯薄壁型钢的材料性能进行测试,测试结果如表 1 所示。

表 1 钢板材料基础性能参数

Table 1 Basic performance parameters of steel platematerials

参 数	数值
屈服应力/MPa	322.27
弹性模量/GPa	161.28
屈服应变/%	0.19
破坏荷载/MPa	283.56
断裂伸长率/%	23.55

除了使用钢板以外,还使用硅酸钙板和刨花板两种墙体材料,两种材料的基础参数如表 2 所示。

表 2 墙体材料基础参数

Table 2 Basic parameters of wall materials

参 数	刨花板参数	硅酸钙板参数
剪切弹性模量/MPa	1 459.83	1 448.72
抗压强度/MPa	26.94	16.12

1.1.2 试验样品制备

试件制备过程中,需要参考 JGJ/T 421—2018 中的相关标准,研究不同截面冷弯薄壁型钢组合墙的抗剪性能,研究过程中需要考虑多个外部影响因素,因此,需要制备多个试验样品。按照不同截面将试验样品分为 3 组,每组制备 10 个试

件,以便多次试验使用。全部试验样品都使用双面覆板,冷弯薄壁型钢作为墙体的墙架柱,墙架主体结构上下两个部分需要分别使用 5 根立柱,每两根立柱之间的间距设定为 60 cm,按照一般建筑结构的相关参数,墙架高度设定为 300 cm,墙体之间的连接位置使用 5 根 C 型梁和必要的组合套件,该梁的截面和宽度分别为 20 cm 和 240 cm。上、下导轨和墙架柱截面规格一致,使用螺钉连接各个龙骨,螺钉的间距会对墙体的抗剪性能造成影响。边墙架柱使用工字钢,中间架柱使用 C160 型钢。锚栓选取参考 JGJ/T 421—2018 标准,每一个螺栓都搭配一个垫片和一个螺母。墙体顶梁和底梁分别使用 C140 钢和冷弯槽钢,这两种钢材的性能参数如表 3 所示。

表 3 钢材性能参数	
Table 3 Steel performance parameters	
参数内容	数值
规格/mm×mm×mm	42×15×1.5
屈服强度/MPa	330
抗拉强度/MPa	440
厚度/mm	15
断裂伸长率/%	33.92

顶梁和底梁与墙体连接同样使用螺钉连接,各个不同截面冷弯薄壁型钢组合墙试验样品在下端墙角位置都使用抗拔螺栓固定,墙体和顶梁、底梁均使用固定螺栓。

1.2 加载装置与加载制度

1.2.1 加载装置

在某第三方检测机构测试不同截面冷弯薄壁型钢组合墙的抗剪性能。试验加载装置为电液伺服程控机构试验机,通过试验加载测试各个试验样品的抗剪性能^[12],验证各个试验样品在测试中各个结构部件发生变形的情况。加载装置的布置如图 1 所示。

1.2.2 加载制度

为了获得各个试验样品的抗剪性能分析结果,使用位移控制加载控制方式向试验样品施加外部荷载,采用逐级加载的方式,每增加一级荷载,保持加载 4 min,待试验样品出现破坏后,停止加载。低周反复加载时,使用单调加载结果,确定出经过反复加载后试验样品上出现的屈服位移,发生屈服之前,每级 4 mm 位移控制荷载级差,试验样品发生屈服后按照每级级差 2 mm 继续循环加载 3 周,直至试验样品出现破坏。

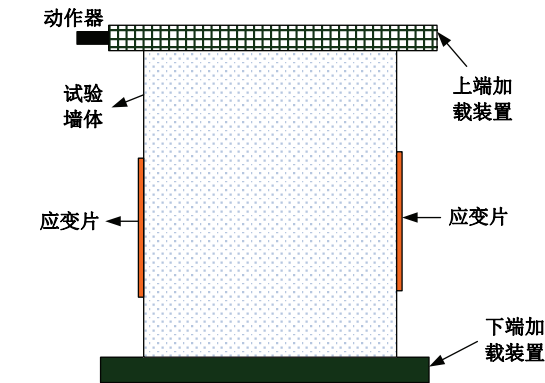


图 1 试验装置布置
Fig. 1 Layout of experimental apparatus

1.3 试验样品抗剪性能分析

1.3.1 不同截面冷弯薄壁型钢组合墙变形分析

在试验装置上布置多个位移计测量受到荷载影响时,通过位移计获得组合墙多个部位的位移数值,以组合墙顶部位移为例,该位移是由墙体出现转动时顶端位移以及台座与墙体之间的相对滑动位移和组合墙体剪切变形组成^[13]。螺钉连接位置的累积变形以及墙面板剪切变形共同组成组合墙体的剪切变形,使用式(1)计算组合墙体的剪切变形 Δ :

$$\Delta = \delta_0 - \delta_1 - \delta_\phi \tag{1}$$

式中: δ_0 为使用位移计在试验样品上实际测量得到的数据; δ_1 为试验样品发生的水平滑移; δ_ϕ 为组合墙发生转动导致墙体顶部出现的位移。

1.3.2 不同截面冷弯薄壁型钢组合墙剪切破坏分析

在各个试验样品上布置多个测点,布置位移计检测试验样品的剪切破坏,同时也观察各个试验样品在不同等级荷载下的裂缝分布情况。布置测点后,使用导杆引伸仪测量试验样品两侧的相对变形、张开变形、裂缝错动等,计算机采集并汇总计算这些数据。

1.3.3 不同截面冷弯薄壁型钢组合墙承载力退化分析

使用极限荷载加载各个试验样品,各个试验样品反复承受荷载加载,此时各个试验样品的承载力与加载次数之间成反比。通过承载力降低系数,评价各个试验样品的承载力退化情况,该降低系数用第三圈和第一圈峰值荷载比值来表示。

1.3.4 螺钉间距对抗剪性能的影响

螺钉在墙体结构中发挥着重要作用,分析施加极限荷载时墙体裂缝的分布情况发现,螺钉连

接位置最容易出现裂缝,但是螺钉却没有出现明显变形破坏^[14]。分析不同螺钉间距对墙体抗剪性能的影响,调整螺钉间距分别为 50、100、150、200、250、300 mm,分析各个试验样品在不同螺钉间距下受荷载影响时的位移变化。

1.3.5 型钢厚度对抗剪性能的影响

本文研究使用不同截面冷弯薄壁型钢作为墙体的墙架柱,分析不同截面冷弯薄壁型钢的厚度对整个组合墙的抗剪性能产生直接影响。调整型钢厚度分别为 10、30、50、70、90、110 mm,向各个试验样品施加极限荷载,再使用位移计检测不同截面冷弯薄壁型钢组合墙的位移变化,由此确定各个试验样品的抗剪性能变化。

1.3.6 立柱间距对抗剪强度影响

不同截面的冷弯薄壁型钢在组合墙中作为墙体立柱,各个立柱间距对墙体抗剪性能的影响较大^[15],将立柱间距分别设置为 20、40、60、80、100、120 mm,向各个试验样品施加极限荷载,分析各个试验样品的位移变化。

2 结果与分析

2.1 单调加载作用下的组合墙剪切变形

使用剪切力加载装置,向各个试验样品单调加载剪切力,通过位移计获得各个试验样品的位移变化,再结合式(1)计算出各个试验样品的剪切变形,绘制出各个试验样品的荷载-位移曲线,试验结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,低周循环荷载加载初期,各个不同截面试验样品的位移变化呈现出较为稳定

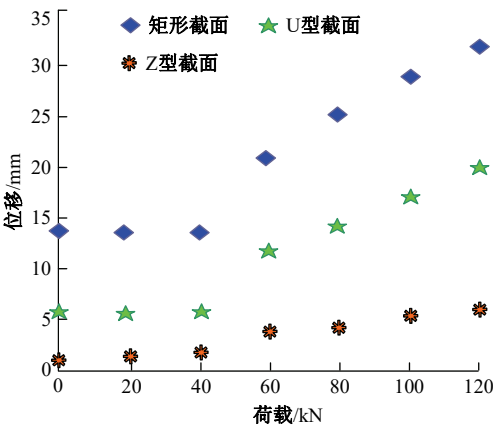


图 2 单调加载不同截面组合墙的荷载-位移曲线
Fig. 2 Load displacement curves of composite walls with different cross-sections under monotonic loading

的状态,说明低周循环荷载较小时,各个不同截面试验样品处于弹性阶段,没有出现较为严重的剪切变形,但是进一步增加低周循环荷载,各个试验样品的位移发生明显变化,此时试验样品进入弹塑性阶段,剪切位移较为明显,荷载加载至最大后,各个试验样品的刚度和强度显著退化,发生严重剪切变形,同时出现明显滑移现象,因此,各个试验样品的位移在 120 kN 时达到最大。综合分析可以看出,Z 型截面的冷弯薄壁型钢组合墙的位移最小,也就是说该试验样品的剪切变形在荷载作用下最小,相比之下,U 型和矩形截面的冷弯薄壁型钢组合墙的位移更大,可以肯定,相比于 Z 型截面的冷弯薄壁型钢组合墙,这两个试验样品的剪切位移更大。

2.2 单调加载作用下的组合墙裂缝变化

按照研究经验,冷弯薄壁型钢组合墙的抗剪能力显著强于普通混凝土剪力墙,为验证这一结论,在 120 kN 荷载下(极限荷载),对各个截面试验样品施加荷载,观察各个试验样品的裂缝分布情况。试验结果如表 4 所示。

表 4 不同荷载下试验样品开裂情况

Table 4 Cracking situation of test samples under different loads				
开裂位置	内容	矩形试样	U 型试样	Z 型试样
试样底部开裂	位移/mm	37.28	22.46	4.28
	裂缝长度/mm	18.65	12.36	5.27
	裂缝宽度/mm	5.24	3.87	2.15
	刚度特征值	0.846	0.968	1.112
试样竖向开裂	位移/mm	35.94	20.17	5.12
	裂缝长度/mm	22.67	19.72	4.28
	裂缝宽度/mm	7.64	3.48	1.96
	刚度特征值	0.485	0.665	0.957
试样斜向开裂	位移/mm	34.76	21.65	2.67
	裂缝长度/mm	36.25	23.15	4.82
	裂缝宽度/mm	6.15	4.96	1.54
	刚度特征值	0.497	0.578	0.676

从表 4 中能够看出,受到极限荷载影响,各个试验样品均出现不同程度的开裂变化,但是横向对比来看,虽然各个试验样品都会发生剪切破坏,但是 Z 型截面的冷弯薄壁型钢组合墙各个位置的裂缝较短,裂缝宽度也更窄。矩形截面的冷弯薄壁型钢组合墙受到荷载影响,发生局部屈曲,因此,在极限荷载下出现更长、更宽的裂缝,刚度也发生明显退化,抗剪性能和承载力显著降低。对比来看,Z 型截面的冷弯薄壁型钢组合墙受到

外部荷载影响,开裂破坏情况更少,承载力和抗剪性能最强,U型截面的冷弯薄壁型钢组合墙性能次之,矩形截面的冷弯薄壁型钢组合墙受到局部屈服影响,抗剪能力相对较弱。

2.3 确定不同截面试验样品的屈服点与破坏荷载

试验样品在实际使用环境中,受外部荷载影响会出现显著屈曲变形,连接墙体的螺钉也有可能出现松动,因此,需要测试分析各个试验样品的屈服点与破坏荷载情况,试验结果如表 5 所示。

表 5 荷载位移特征分析

测试内容	矩形试样	U 型试样	Z 型试样
屈服荷载/kN	5.88	4.69	2.81
屈服位移/mm	19.57	7.21	3.51
极限荷载/kN	15.89	7.86	4.87
极限位移/mm	40.83	44.28	21.92
破坏荷载/kN	9.16	7.86	4.87
破坏位移/mm	44.28	41.92	21.83
延性系数	6.23	6.33	2.26
累计耗能能力/(kN·mm)	1 583	1 769	1 002

分析表 5 可知,受到外部荷载影响,各个试验样品均出现较大变形和破坏,极限荷载和极限位移与各个试验样品的破坏荷载及破坏位移较接近,说明极限荷载下,也就是各个试验样品的破坏荷载,矩形截面冷弯薄壁型钢组合墙的破坏位移达到 44.28,但是 Z 型截面冷弯薄壁型钢组合墙的破坏位移仅为 21.83,该截面冷弯薄壁型钢组合墙的位移数值更小,展现出更加良好的抗剪切性能。

2.4 剪切作用下承载力退化分析

不同加载位移下,各个试验样品的承载力退化系数变化如图 3 所示。

分析图 3 可知,加载位移增大,各个试验样品的承载力退化系数出现缓慢上升变化,由此可以看出加载位移变化对承载力变化影响较小。对比来看,Z 型截面的冷弯薄壁型钢组合墙承载力退化幅度较小,即使在较大位移加载下,仍旧具有较为可观的承载力。

2.5 螺钉间距对抗剪切性能的影响

调整各个试验样品的螺钉间距,分析各个试验样品的位移变化,由此分析出各个试验样品的抗剪切性能。试验结果如图 4 所示。

分析图 4 能够看出,螺钉间距在 50~100 mm 时,各个试验样品的位移呈现出下降变化趋势,说

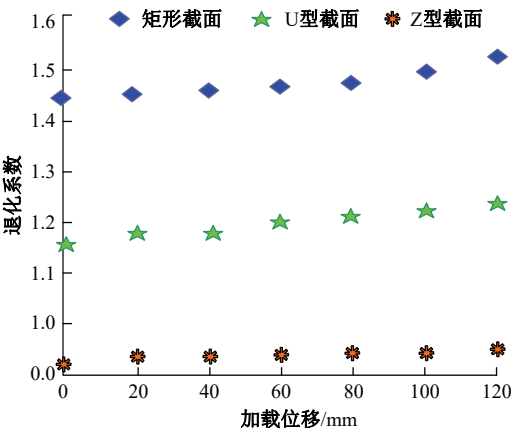


图 3 剪切作用下承载力退化分析
Fig. 3 Degradation analysis of bearing capacity under shear action

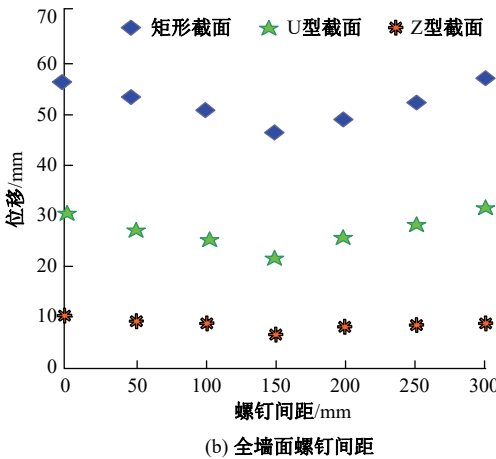
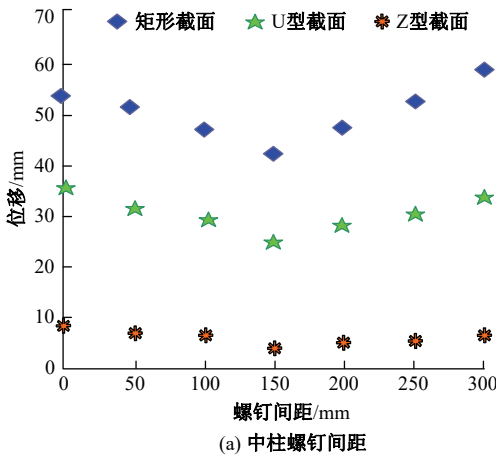


图 4 剪切作用下承载力退化分析
Fig. 4 Degradation analysis of bearing capacity under shear action

明螺钉间距未超过 150 mm 时,各个试验样品没有出现严重位移变形,其中螺钉间距未达 150 mm 时,各个试验样品的位移最小,继续增加螺钉间距至 200~300 mm 时,各个试验样品的位移明显增大,说明较大螺钉间距会导致各个试验样品出现

较大位移。但是对比来看,Z型截面的冷弯薄壁型钢组合墙的位移变化最小,该截面组合墙的抗剪强度更高。

2.6 型钢厚度对抗剪性能的影响

调整型钢厚度,测试不同规格型钢制备的不同截面冷弯薄壁型钢组合墙抗剪性能变化,试验结果如图 5 所示。

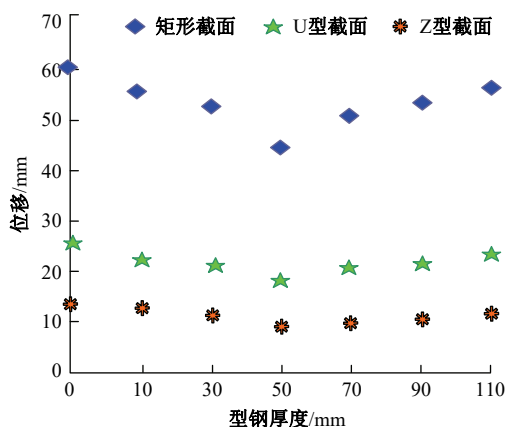


图 5 型钢厚度对组合墙的影响

Fig. 5 Influence of steel thickness on composite walls

分析图 5 可知,测试型钢对组合墙抗剪性能产生影响时,Z型截面型钢制备的组合墙依旧表现出良好的抗剪性,进一步说明无论选择何种厚度规格的型钢材料,Z型截面冷弯薄壁型钢组合墙的抗剪性能最佳。型钢厚度在 10~50 mm 时,组合墙没有出现严重位移变形,抗剪强度较为良好,但是型钢厚度较大时,会增加组合墙发生位移变形的概率,因此,选择 50 mm 型钢能够制备抗剪切性能更好的组合墙。

2.7 立柱间距对抗剪性能的影响

测试不同立柱间距对组合墙抗剪性能的影响,试验结果如图 6 所示。

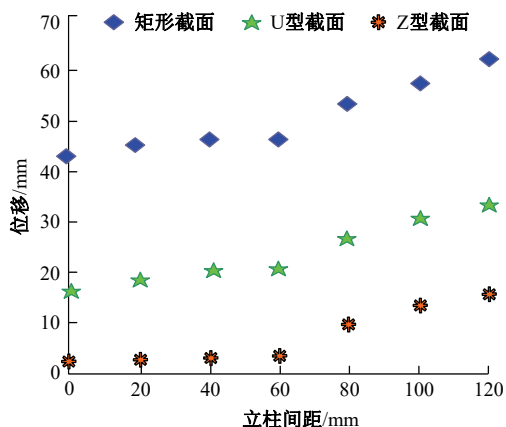


图 6 立柱间距对组合墙的影响

Fig. 6 Influence of column spacing on composite walls

分析图 6 可知,增加立柱间距会导致组合墙的变形概率上升,综合来看,间距为 60 mm 时,组合墙的抗剪强度最适宜。Z型截面组合墙在该试验中的抗剪性能表现最好。

3 结束语

研究不同截面冷弯薄壁型钢组合墙受剪性能,以便为今后建筑性能提升提供依据。截面形状的变化会直接影响墙体的刚度和强度分布,影响建筑整体受剪性能,不同截面的冷弯薄壁型钢组合墙在受剪时表现出不同的力学性能。经过研究分析,虽然矩形截面和 U 型截面的冷弯薄壁型钢组合墙也展现出良好的受剪性能,但是 Z 型截面冷弯薄壁型钢组合墙经过各项试验测试发现,其抗剪切性能更好。通过以上研究,未来可以提出针对不同截面冷弯薄壁型钢组合墙的设计建议,包括选择合适的截面形状、材料性能、组合方式以及填充材料等,为了更深入地了解不同截面冷弯薄壁型钢组合墙的受剪性能,还需要进一步开展试验研究、数值模拟和理论分析等工作。

参考文献:

- [1] 陈明, 王一凡. 冷弯薄壁型钢蒙古包风雪作用下仿真研究[J]. 计算机仿真, 2021, 38(1): 181-186.
Chen Ming, Wang Yi-fan. Stimulation study on the cold-formed thin-wall steel mongolian yurt under wind and snow loads[J]. Computer Simulation, 2021, 38(1): 181-186.
- [2] 徐博文, 姜宝石. 带内置拉条的冷弯薄壁型钢和秸秆板组合墙体抗侧力性能研究[J]. 建筑钢结构进展, 2022, 24(12): 92-102, 116.
Xu Bo-wen, Jiang Bao-shi. Research on the lateral force resistance of composite walls composed of cold-formed thin-walled steel members and straw board with built-in bracings[J]. Progress in Steel Building Structures, 2022, 24 (12): 92-102, 116.
- [3] 彭志明, 陈忠范, 徐志峰, 等. 不同截面冷弯型钢-泡沫混凝土组合墙体抗震性能[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2023, 53(5): 783-793.
Peng Zhi-ming Chen Zhong-fan, Xu Zhi-feng, et al. Seismic performance of cold-formed steel-foam concrete composite wall with different sections[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition), 2023, 53 (5): 783-793.
- [4] 徐志峰, 陈海涛, 王来, 等. 装配式冷弯薄壁型钢-轻质混凝土组合剪力墙抗震性能研究[J]. 建筑结构

- 学报, 2023, 44(12): 46-58.
- Xu Zhi-feng, Chen Hai-tao, Wang Lai, et al. Study on seismic behavior of assembled lightweight concrete-filled cold-formed thin-walled steel composite shear walls[J]. Journal of Building Structures, 2023, 44(12): 46-58.
- [5] 管宇,周绪红,石宇,等. 冷弯薄壁型钢组合墙体简化计算模型研究[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2023, 50(1):59-68.
- Guan Yu, Zhou Xu-hong, Shi Yu, et al. Simplified calculation model of cold-formed thin-walled steel composite wall[J]. Journal of Hunan University(Natural Sciences), 2023, 50(1): 59-68.
- [6] 刘朋,钱哲,王连广,等. 双片 OSB 覆面冷弯薄壁型钢墙体滞回性能研究[J]. 建筑钢结构进展, 2022, 24(3):72-79.
- Liu Peng, Qian Zhe, Wang Lian-guang, et al. Research on the hysteretic behavior of double OSB sheathed cold-formed steel wall[J]. Progress in Steel Building Structures, 2022, 24(3): 72-79.
- [7] Kumar P, Kumar A, Kumar S, et al. Bending behaviour of steel-concrete composite beam with partial shear interface using MCS and ANN[J]. Acta Mechanica, 2024, 235(7): 4451-4471.
- [8] 李红现,刘殿忠,张振,等. 轻钢-发泡聚苯乙烯轻质混凝土组合墙体力学性能试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2023, 49(6): 34-45.
- Li Hong-xian, Liu Dian-zhong, Zhang Zhen, et al. Experimental study on mechanical properties of light steel-expanded polystyrene lightweight concrete composite wall[J]. Sichuan Building Science, 2023, 49(6): 34-45.
- [9] 王威,李昱,权超超,等. 竖波钢板组合剪力墙截面性能及曲率分析[J]. 工程力学, 2023, 40(7): 82-98.
- Wang Wei, Li Yu, Quan Chao-chao, et al. Section performance and curvature analysis of vertical corrugated steel plate composite shear walls[J]. Engineering Mechanics, 2023, 40(7): 82-98.
- [10] 侯皓文,王伟,陈越时. 双钢板混凝土组合剪力墙-钢梁单边螺栓端板连接节点抗震性能研究[J]. 工程力学, 2023, 40(增刊 1): 259-268, 294.
- Hou Hao-wen, Wang Wei, Chen Yue-shi. Seismic performance of endplate connections between steel beams and double-skin composite walls with blind bolts[J]. Engineering Mechanics, 2023, 40(Sup. 1): 259-268, 294.
- [11] 庞瑞,刘宇豪,梁书亭,等. 装配式钢-混凝土组合管剪力墙抗震性能试验与数值分析[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2022, 52(3): 471-481.
- Pang Rui, Liu Yu-hao, Liang Shu-ting, et al. Experiment and numerical analysis on seismic behavior of precast SRC composite tube shear walls[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition), 2022, 52(3): 471-481.
- [12] 任重,杨碧伟,何文福,等. 考虑覆板承载的开孔冷弯薄壁型钢组合墙体压弯性能研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2022, 44(3): 30-39, 29.
- Ren Zhong, Yang Bi-wei, He Wen-fu, et al. Compression and bending performance of cold-formed thin-walled steel perforated stud walls considering the bearing capacity of sheathing[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2022, 44(3): 30-39, 29.
- [13] 褚云朋,钟燕,罗萍. 基于损伤的多层冷弯薄壁型钢结构房屋抗震性能及设计方法[J]. 工业建筑, 2022, 52(4): 50-55, 90.
- Chu Yun-peng, Zhong Yan, Luo Ping. Seismic performance and design method of multi story cold-formed thin-walled steel structure buildings based on damage[J]. Industrial Architecture, 2022, 52(4): 50-55, 90.
- [14] 张国伟,安佳宁,高海智,等. M 型钢-混凝土组合剪力墙抗震性能有限元分析[J]. 建筑结构, 2023, 53(3): 21-26, 63.
- Zhang Guo-wei, An Jia-ning, Gao Hai-zhi, et al. Finite element analysis on seismic performance of M-section steel-concrete composite shear wall[J]. Building Structure, 2023, 53(3): 21-26, 63.
- [15] 张国伟,安佳宁,高海智,等. M 型钢-混凝土组合剪力墙抗震性能有限元分析[J]. 建筑结构, 2023, 53(3): 21-26, 63.
- Zhang Guo-wei, An Jia-ning, Gao Hai-zhi, et al. Finite element analysis on seismic performance of M-section steel-concrete composite shear wall[J]. Building Structure, 2023, 53(3): 21-26, 63.