

桁架式加劲多腔体钢板组合剪力墙的研究进展

张新旺, 孙洪军

辽宁工业大学土木建筑工程学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2025年7月25日; 录用日期: 2025年8月15日; 发布日期: 2025年8月27日

摘 要

为了改进抗剪连接件存在焊接工艺要求高、墙体外立面不平整以及混凝土浇筑困难等问题, 有团队提出了一种桁架式多腔体钢板组合剪力墙, 它具有轻质高强、力学性能好且便于标准化制作、绿色低碳、经济效益好等优点。本文以查阅大量文献为基础, 对双钢板组合剪力墙各种连接方式的特点与不足进行了总结, 重点梳理和归纳了轴压比, 剪跨比以及钢筋桁架等参数对桁架式多腔体钢板组合剪力墙抗震性能的影响, 指出了此种剪力墙的关键问题并对未来进行了展望, 望能为装配式桁架加劲多腔体钢板剪力墙进一步研究和发展提供参考和建议。

关键词

绿色低碳, 抗剪连接件, 抗震性能, 连接方式, 桁架式多腔体钢板组合剪力墙

Research Progress of Truss Stiffened Steel Plate Composite Shear Wall

Xinwang Zhang, Hongjun Sun

School of Civil and Architectural Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: Jul. 25th, 2025; accepted: Aug. 15th, 2025; published: Aug. 27th, 2025

Abstract

In order to address the issues of high welding process requirements, uneven external wall surfaces, and difficulties in concrete pouring in shear wall connections, a team has proposed a truss-type multi-chamber steel plate composite shear wall. This wall system has advantages such as being light-weight and high-strength, exhibiting good mechanical properties, being easy to standardize in production, and being green and low-carbon with good economic benefits. Based on a comprehensive

review of extensive literature, this paper summarizes the characteristics and shortcomings of various connection methods for double-steel-plate composite shear walls. It focuses on the impact of parameters such as axial load ratio, shear span ratio, and steel truss reinforcement on the seismic performance of the truss-type multi-chamber steel plate composite shear wall. The paper identifies key issues with this type of shear wall and offers prospects for future research, with the aim of providing reference and suggestions for the further study and development of prefabricated truss-reinforced multi-chamber steel plate shear walls.

Keywords

Green and Low-Carbon, Shear-Resistant Connectors, Seismic Performance, Connection, Truss Type Multi-Cavity Steel Plate Composite Shear Wall

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

推动实现“2030 碳达峰、2060 碳中和”目标是党中央作出的重大战略决策,建筑领域作为能源消费和碳排放的主要领域,转型为低碳、绿色方向是实现“双碳”目标的关键途径[1]。推广应用装配式钢结构建筑有助于推动建筑工业化,降低能耗和碳排放。然而,作为世界建筑规模和钢材产量最大的国家,钢结构建筑面积仅占总建筑面积的 5%至 7%,发展严重滞后。因此,加快钢结构建筑的推广对于推动建筑行业绿色转型至关重要[2]。

剪力墙结构是建筑尤其是高层建筑中最主要的抗侧力构件,是建筑结构的第一道防线[3]。在高层结构中,传统的钢筋混凝土剪力墙需使用钢筋笼大尺寸钢筋,这大大降低了施工效率[4],且这种剪力墙只能通过增大截面来满足轴压比限值要求,不仅降低了房屋利用率,而且增加了自重不利于抗震要求[5]。由于钢材具备优良的延性和耗能能力,国内外学者提出了钢板剪力墙。钢板剪力墙的优点在于具有较大的抗侧刚度和较高的承载力,同时展现出良好的延性,但其存在明显缺点,比如耐火性能较差,当钢板较薄时,在地震作用下,薄钢板可能发生平面外的鼓曲变形,并产生较大噪音,在往复荷载作用下,薄钢板剪力墙的耗能能力较弱。尽管采用厚钢板剪力墙能改善滞回耗能效果,但因其用钢量较大,经济性差,难以满足实际工程需求[6]。

为了解决纯钢板剪力墙的缺陷,有学者研究发现,将钢与混凝土 2 种材料组合在一起,可有效解决钢板过早屈曲问题并且能提高墙体延性,提出了双钢板混凝土组合剪力墙[7][8]。双钢板混凝土组合剪力墙充分结合了钢和混凝土的优点,具有承载力高、延性好、质量轻、节省材料、施工便捷等优势,广泛应用于高层和超高层建筑,因此国内外学者进行了大量研究[9]-[11]。

2. 双钢板组合剪力墙的连接方式及其研究进展

2.1. 双钢板组合剪力墙的连接方式

双钢板组合剪力墙的力学性能主要取决于两侧钢板与内部混凝土的相互作用,而这两者间的相互作用又主要取决于钢板与混凝土的连接方式。常见的连接方式有栓钉连接,对拉螺栓连接,加劲钢板连接,以及混合连接等,具体构造特点见图 1。

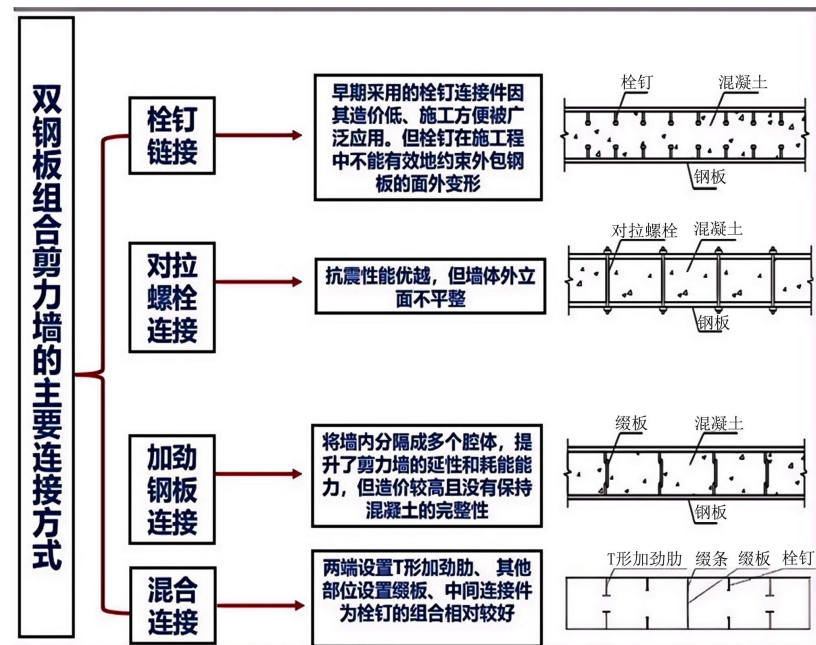


Figure 1. The connection mode of the double steel plate composite shear wall
图 1. 双钢板组合剪力墙的连接方式

2.2. 双钢板组合剪力墙的连接方式的研究进展

栓钉连接因造价低、施工方便是起初最常用的连接方式，后来经常被学者用来做实验的标准试件或与其他连接件进行组合研究[12]。Eom T、程春兰、刘鸿亮等对采用对拉螺栓连接的钢板组合剪力墙抗震性能实验，发现合理布置拉杆间的间距可有效改善剪力墙的延性与耗能[13]-[15]。Zhang 等对加劲钢板组合剪力墙进行了抗震性能实验研究。实验结果显示增加外部钢板的厚度以及由加劲钢板将剪力墙内部分割成的腔体的个数均可提高墙体的延性及耗能能力，并提出了计算剪力墙最大抗剪强度及初始刚度的预测公式。最大抗剪强度计算采用叠加法如式(1)。

$$V = V_C + V_S = 0.0421f_c b h_0 + 0.1N \tag{1}$$

初始刚度计算如式(2)

$$1/K_0 = 1/K_m + 1/K_v \tag{2}$$

其中 $K_m = pE_{sc}I_{sc}/h_3$ ， $K_v = G_{sc}A_{sc}/kh$ 。式中符号定义见文献[16]。经验证，可对绝大多数试件进行预测，结果也比较令人满意误差可控制在 10%以下。张壮南等对 4 片不同连接方式的钢板组合剪力墙(轴压比为 0.5)进行了拟静力试验，实验结果显示与全栓钉连接相比，采用栓钉、T 形加劲肋和缀板混合连接的钢板组合剪力墙具有更高的位移延性(提高了 22.73%)和更好的耗能能力，且两端设置 T 形加劲肋中间设置缀板再结合栓钉的组合墙体性能最优[17]。

但是以上几种连接方式仍存在焊接工艺要求高、墙体外立面不平整以及混凝土浇筑困难等可进一步改进的方面。

3. 装配式桁架加劲多腔体钢板组合剪力墙及其研究进展

3.1. 多腔体钢板组合剪力墙

Zhang 等在做实验时为对比墙体采用了更多的加劲钢板来分隔墙体内部，这就使墙体内部产生了更

多的腔室, 经过试验得出这些多腔剪力墙由剪切破坏转为弯曲与剪切破坏, 因此这些多腔剪力墙的滞回曲线更加的饱满(图 2)。沙振方等用 3 组对比实验分别测试了多腔钢板组合剪力墙与钢筋混凝土剪力墙的抗震性能, 不同轴压比下(0.1, 0.2, 0.4) 3 片多腔钢板组合剪力墙的抗震性能以及多腔钢板组合剪力墙与钢管混凝土框架, 钢管混凝土框架-多腔钢板组合剪力墙的抗震性能, 结果显示: 多腔钢板组合剪力墙的抗震性能要远远优于钢筋混凝土剪力墙, 且极限水平位移角也是远大于钢筋混凝土剪力墙(1/32, 1/115)。轴压比不同的 3 片墙体随着轴压比的增加极限位移角分别为 1/32, 1/36, 1/40, 除此之外峰值荷载与墙体的延性也有所下降。而最后一组实验得出多腔式双钢板组合剪力墙与钢管混凝土框架具有良好的延性协调性, 两者协同作用、优势互补, 钢管混凝土框架作为抗震第二防线, 能够有效参与工作, 从而使得联合结构体系的承载力和刚度退化速度减缓, 且提高了耗能能力[18][19]。各组的滞回曲线与骨架曲线对比见图 3。

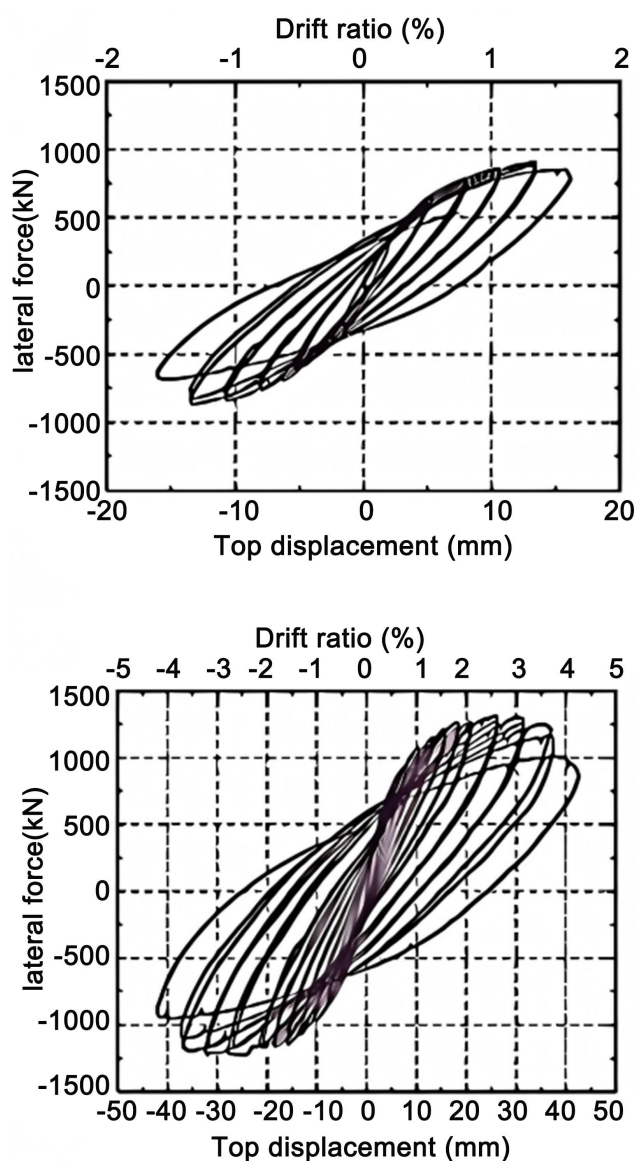


Figure 2. Hysteresis curves of a shear wall with a few chambers and a multi-chamber double steel plate
图 2. 少腔室与多腔室双钢板组合剪力墙的滞回曲线

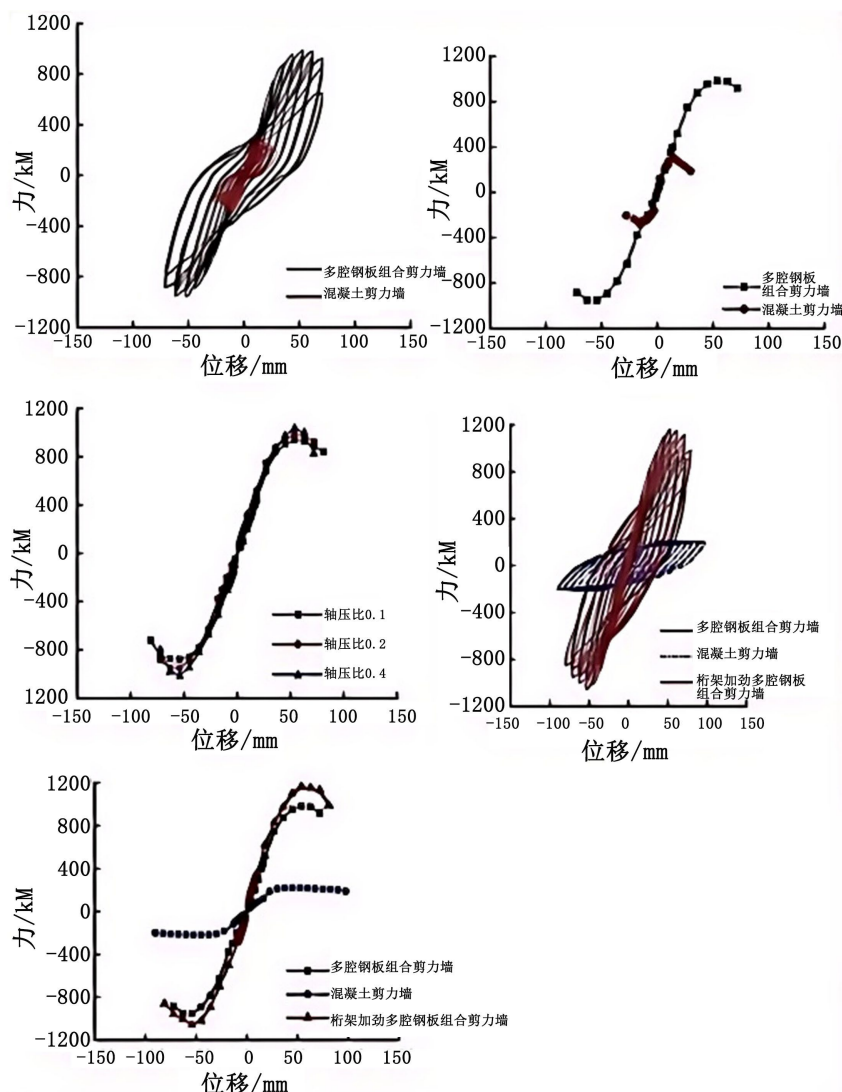


Figure 3. Comparison of three sets of hysteresis curves of shear walls with skeleton curves
图 3. 三组剪力墙滞回曲线与骨架曲线的对比

3.2. 桁架加劲多腔体钢板组合剪力墙

用焊接钢板来增加剪力墙腔室的数量确实能提高剪力墙变形与耗能的能力,但也增加了钢材的用量且降低了外包钢板的有效宽度也使得墙内混凝土不在具有完整性。2018年,由浙江东南网架股份有限公司的周观根等提出了一种内置桁架式双钢板组合剪力墙,该剪力墙采用桁架作为连接件,桁架由角钢弦杆和波形钢筋腹杆焊接而成[20](图4)。该内置桁架式双钢板组合剪力墙具有轻质高强、抗震性能好、受力性能优异、便于标准化制作、绿色低碳和经济性好的优点。通过与建筑墙体规格尺寸匹配,有效解决了室内露梁、露柱问题,布置灵活,满足住宅建筑的空间利用需求。在构造上,解决了双钢板组合剪力墙混凝土全贯通与钢板高效约束的技术难题,腔体间贯通增强混凝土整体性,浇筑施工便捷。在制作上,开发了智能化制造工艺和装备,实现了桁架加劲多腔体钢板组合剪力墙的高效生产(图4)。在经济性方面,与同类墙体相比,节约钢材约3%~5%,与钢框架支撑体系相比节约约8%~10%。由于上述优势,大批的学者对此种剪力墙展开了研究。目前国内也有用此种剪力墙的工程案例(图5)。

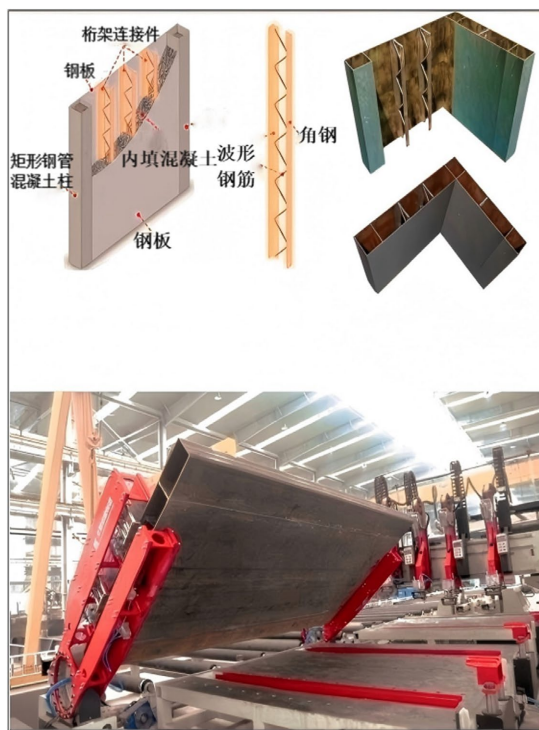


Figure 4. Structure and production line of truss stiffened multi-cavity steel plate composite shear wall

图 4. 桁架加劲多腔钢板组合剪力墙的构造与生产线

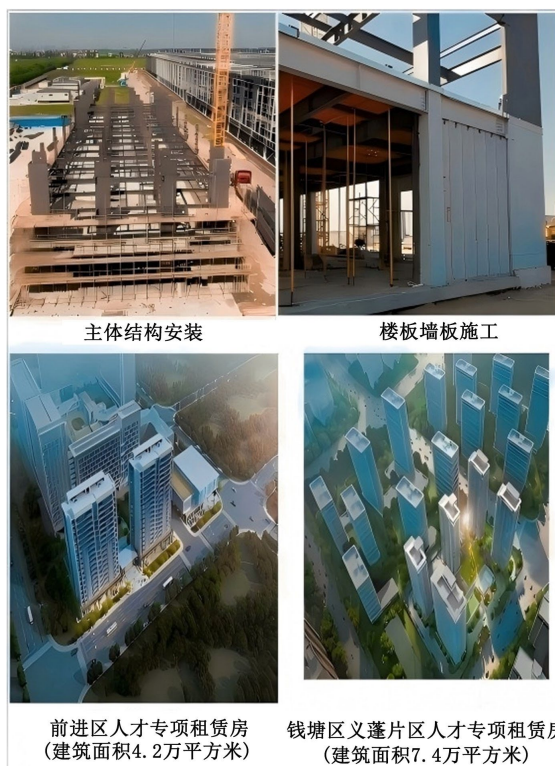


Figure 5. Engineering case of truss stiffened multi-cavity steel plate composite shear wall

图 5. 桁架加劲多腔体钢板组合剪力墙的工程案例

3.3. 桁架加劲多腔体钢板组合剪力墙抗震性能的研究现状

剪力墙作为建筑中最主要的抗侧构件,其抗震性能非常重要。李晓蕾等提出了4种性能的评价指标:使用良好,使用无害,生命安全,防止倒塌分别对应于构件初裂,钢材屈服,承载力峰值以及破坏阶段。对应的位移角分别为:1/1180,1/336,1/133,1/104。

对此,众多学者针对此种剪力墙的抗震性能开展了大量研究[21]。

韩建红等对3片不同轴压比(0.4,0.5,0.6)的桁架式多腔体钢板组合剪力墙进行了拟静力试验,在实验过程中主要收集了水平荷载及位移,剪切变形等特征数据,还发现在往复荷载作用下,随着轴压比增大,墙体的塑性发展越明显,损伤越大。实验结束后,通过各试件的荷载一位移曲线,刚度退化曲线以及变形图(图6)对比得出,新型桁架式钢板剪力墙具有较好的承载能力和耗能能力,轴压比较小时有良好的延性能力,轴压比对承载力和刚度影响较小。墙体的水平变形包括剪切变形和弯曲变形两部分,高宽比为2时,剪切变形占据水平变形的20%~40%,3片墙体均发生了减压破坏[22]。

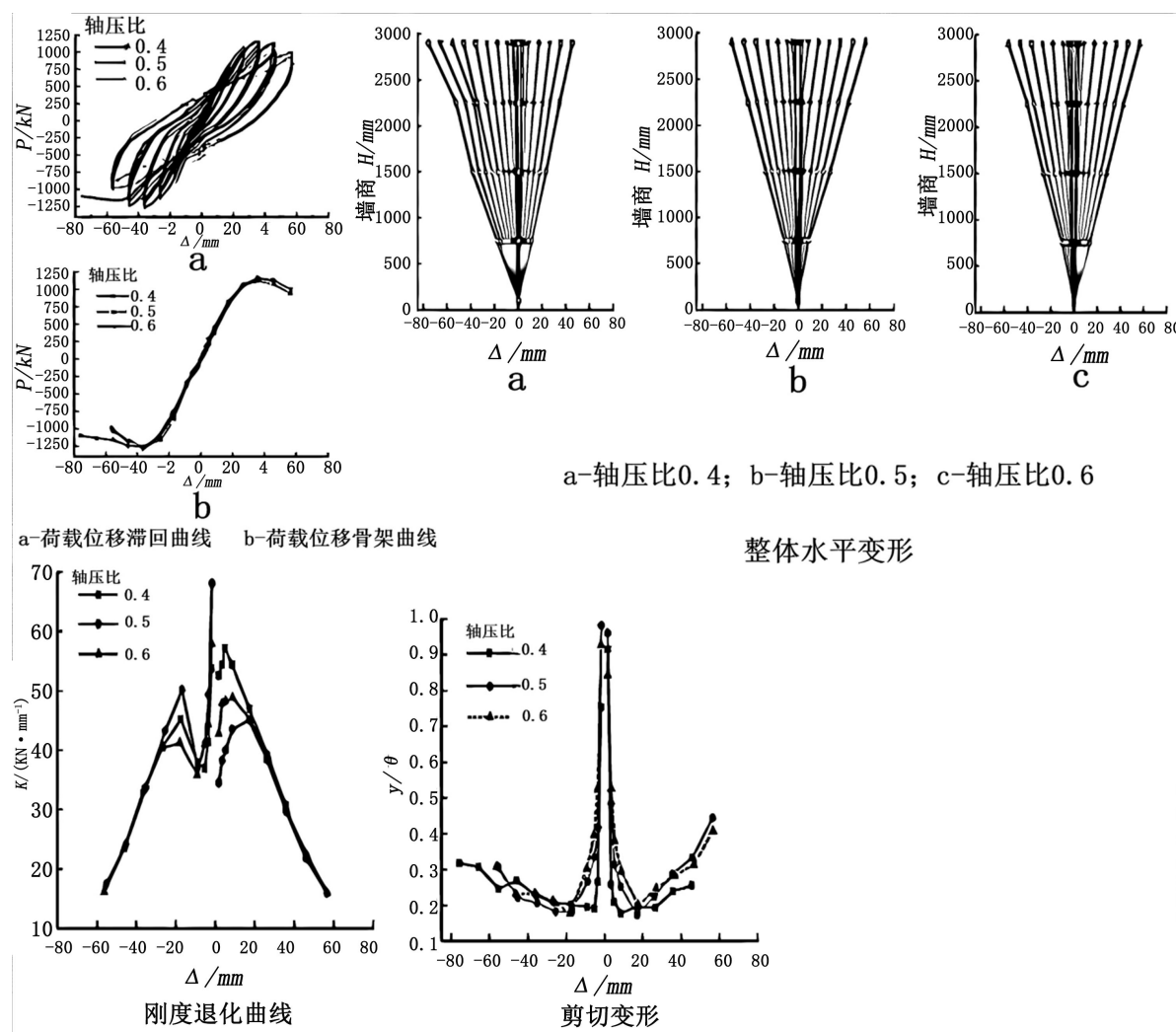
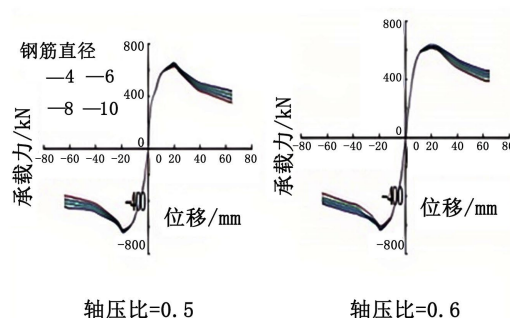


Figure 6. Load-displacement curves, stiffness degradation curves, and deformation diagrams
图6. 荷载-位移曲线、刚度退化曲线及变形图

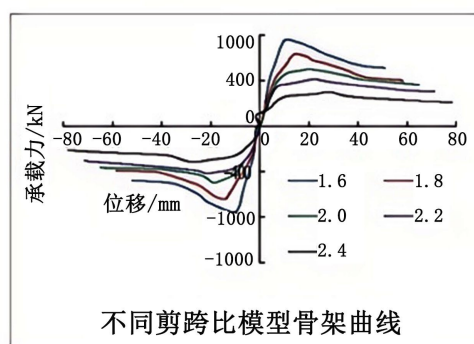
石逸凡等根据钢筋直径,剪跨比,轴压比的不同对桁架钢板组合剪力墙设置了3组对照试验,主要

分析了钢筋直径不同、剪跨比不同对剪力墙抗震性能有何影响, 根据实验数据以及得出的骨架曲线(图 7)分析, 钢筋桁架直径的增大对峰值承载力的影响较小, 但却能显著改善其延性和变形性能。当钢筋桁架的直径从 4 毫米增加到 10 毫米时, 轴压比为 0.5 时延性系数提高了 13.12%, 轴压比为 0.6 时提高了 16.01%。随着剪跨比的逐渐减小, 模型的峰值承载力逐步增加, 延性先提高后下降。当剪跨比从 2.4 降低到 1.6 时, 承载力的提升幅度可达到 148.11%, 当剪跨比为 2 时墙体的延性最好。剪跨比较小的模型主要表现为剪切破坏为主的弯剪破坏; 而剪跨比较大的模型则主要呈现出受弯破坏为主的弯剪破坏形式[23]-[25]。

祝志华等根据钢筋桁架的布置间距、布置方向、暗柱内侧钢板是否连续、是否布置钢筋桁架设计了 6 片组合墙体并进行了拟静力试验。结果显示设置了钢筋桁架的组合剪力墙比普通的组合剪力墙在承载力, 抗侧刚度和极限位移都有不同幅度的提高, 尤其是滞回耗能能力, 设置了桁架的钢板组合剪力墙提高了 5.86~6.18 倍, 表现出优良的抗震性能。钢筋桁架间距减小(从 200 mm 到 150 mm 和 100 mm)使峰值承载力分别增加了 3.5%和 9.1%, 延性和滞回耗能也显著提高, 间距越小, 抗震性能越强。钢筋桁架的纵向布置相比横向布置, 能够提高延性和耗能能力, 试件峰值位移角、极限位移角等指标也有所增加。增加暗柱钢板厚度(5 mm 和 6 mm)提高了承载力, 但其效果逐渐减小, 且经济性下降。提高混凝土强度等级(C30 到 C40、C50)增加了峰值荷载, 但延性有所下降。钢筋桁架直径增大(从 4 mm 到 6 mm、8 mm)对承载力影响不大, 但变形性能和延性有所提升。钢筋桁架采用梅花式布置能延缓强度退化, 增加极限位移并减小钢板屈曲范围[26]。



不同钢筋桁架直径模型骨架曲线



不同剪跨比模型骨架曲线

Figure 7. Skeletal curves
图 7. 骨架曲线

练婷婷等使用 Perform-3D 软件对一座框架-核心筒结构的工程案例模拟分析了钢筋桁架钢板组合剪力墙的抗震性能。通过对比结构顶点位移、层间位移角、基底剪力等整体结构指标, 以及剪力墙材料损

伤控制等方面, 并使用弹塑性时程分析法, 按照反应谱双频段控制原则[27]选取的地震动记录分为了 6 种工况(震级依次增强)分别与普通双钢板组合剪力墙的性能进行了比较和评估。根据模拟得到的各时程曲线以及损伤模型分析得出: 在各工况地震作用下钢筋桁架钢板组合剪力墙结构的平均最大顶点位移比普通钢板组合剪力墙结构大 16.59%, 最大层间位移角小 5.45%且分布较为均匀, 主要分布在中高楼层, 而普通钢板组合剪力墙结构的大多集中在中低楼层, 且楼层间差异较大, 这是因为钢筋桁架的加入提高了剪力墙结构的整体性, 在地震作用时变形更加均匀, 最大层间位移角也更小。平均最大基底剪力桁架钢板组合剪力墙比普通钢板组合剪力墙增大 21.25%。最后从最大震级的工况 6 中模拟的损伤模型来看桁架钢板组合剪力墙的钢板损伤减少了 88% [28] [29]。

李光德等以剪跨比以及轴压比为参数设计了 9 个钢筋桁架双钢板组合剪力墙的缩尺模型并对这几个模型进行了拟静力试验, 结合模拟提出了桁架钢板组合剪力墙的设计建议: 考虑到试验中墙体底部钢板撕裂及部分钢筋桁架焊接点断开, 建议在钢构件加工时确保薄弱环节的焊接质量。有限元分析表明, 靠近暗柱位置的墙体混凝土损伤较为严重, 建议提高该部位混凝土强度或采取其他加固措施。同时, 为保证传力均匀, 建议在钢板加工过程中控制表面平整度, 并尽量减少部件安装过程中的间隙, 以确保良好接触。最后, 浇筑混凝土时应考虑钢筋桁架对骨料最大粒径的影响, 并采取措施避免浇捣不密实现象[30]。

4. 研究不足及展望

现有研究表明, 桁架加劲多腔体组合剪力墙具有轻质高强、优异的抗震性能和卓越的受力特性, 然而现有研究仍存在一些不足, 结合现有研究存在的不足和建筑绿色低碳的发展对未来提出如下展望:

(1) 在构件形式方面, 桁架加劲多腔体钢板组合剪力墙可以根据建筑的具体需求, 设计成一字型、L 型、T 型、Z 字型等多种截面形态。然而, 目前大部分研究集中在一字型剪力墙上, 针对 L 型、T 型和 Z 字型剪力墙的研究相对较少。未来, 学者们可以加强对这几种剪力墙形式的深入研究。

(2) 桁架连接件是确保桁架加劲双钢板组合剪力墙发挥优异抗震性能的关键构件。当墙体上存在较大洞口, 导致桁架连接件被切断时, 这种组合剪力墙的抗震性能可能会受到显著影响, 对带有洞口的此类剪力墙的研究还是空白。因此, 未来应对带有开洞或较大洞口的桁架加劲双钢板组合剪力墙进行深入研究。

(3) 关于连接节点的研究相对薄弱, 连接节点的设计对整体结构的抗震性能有着显著影响。目前的研究多集中于墙体本身, 缺乏对连接节点的深入探讨, 导致在实际工程应用中可能出现意想不到的安全隐患。未来的研究应当加强实验研究与理论分析的结合, 特别是在连接节点的设计与优化方面, 以提升桁架式多腔体钢板组合剪力墙的抗震设计水平。

5. 结论

桁架加劲多腔体钢板组合剪力墙解决了传统连接方式的不足, 同时具有优越的抗震性能, 且便于标准化生产、绿色低碳、经济性好。该体系通过与建筑墙体尺寸匹配, 解决了室内露梁、露柱问题, 且布置灵活, 满足住宅建筑对空间和平面布局的多样化需求。本文综述了近年来关于不同连接方式的双钢板组合剪力墙, 重点介绍了桁架式加劲多腔钢板抗震性能及实验研究的进展, 其中, 轴压比对墙体的承载力及刚度影响较小。剪跨比为 2 时墙体的延性最好。钢筋桁架间距减小可以提高其峰值承载力, 布置方向采用纵向布置要比横向布置, 更能提高延性和耗能能力, 试件峰值位移角、极限位移角等指标也有所增加。另外, 还指出了现有研究存在的一些不足, 旨在为未来的研究方向提供参考。

基金项目

2024 年辽宁省科技计划联合计划项目(2024011314-JH2/1026)。

参考文献

- [1] 林铭欣, 李明东, 秦浩, 等. 装配式钢结构办公建筑全生命周期碳排放计算方法研究与应用[J]. 工程科学学报, 2024, 46(10): 1899-1911.
- [2] Yan, W., Guo, C. and Li, L. (2024) Evaluating the Effect of Prefabricated Building Incentive Policies Using Structural Equation Modeling: A Chinese Empirical Study. *Buildings*, **14**, Article 1304. <https://doi.org/10.3390/buildings14051304>
- [3] 范重, 刘学林, 黄彦军. 超高层建筑剪力墙设计与研究的最新进展[J]. 建筑结构, 2011, 41(4): 33-43.
- [4] 李子懿, 肖从真, 李建辉, 等. 复杂高层建筑结构抗震设计方法研究现状与展望[J]. 建筑科学, 2019, 35(9): 120-125.
- [5] Sener, K.C., Varma, A.H. and Ayhan, D. (2015) Steel-Plate Composite (SC) Walls: Out-of-Plane Flexural Behavior, Database, and Design. *Journal of Constructional Steel Research*, **108**, 46-59. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.02.002>
- [6] 郁银泉, 马晓飞, 张爱林, 等. 装配式钢板剪力墙结构抗震性能研究综述[J]. 建筑结构, 2021, 51(17): 16-24.
- [7] 郭彦林, 朱靖申. 剪力墙的类型、设计理论研究进展[J]. 工学, 2020, 37(6): 19-33.
- [8] 徐如楠, 刘新领, 张弘洋. 钢板-混凝土组合剪力墙研究[J]. 工程与建设, 2016, 30(2): 155-157.
- [9] Wright, H.D. and Gallocher, S.C. (1995) The Behaviour of Composite Walling under Construction and Service Loading. *Journal of Constructional Steel Research*, **35**, 257-273. [https://doi.org/10.1016/0143-974x\(94\)00051-i](https://doi.org/10.1016/0143-974x(94)00051-i)
- [10] Cheng, Y., He, H., Sun, H. and Li, J. (2024) Seismic Experiment and Performance Analysis on Embedded Optimized Steel Plate-Reinforced Concrete Composite Shear Wall under Multi-Dimensional Loading. *Journal of Building Engineering*, **98**, Article 111087. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111087>
- [11] 韩广强, 李峰, 黄立朋. 双钢板混凝土组合剪力墙抗震性能研究综述[J]. 低温建筑技术, 2021, 43(1): 31-36.
- [12] 聂建国, 卜凡民, 樊健生. 高轴压比、低剪跨比双钢板-混凝土组合剪力墙拟静力试验研究[J]. 工程力学, 2013, 30(6): 60-66+76.
- [13] Eom, T., Park, H., Lee, C., Kim, J. and Chang, I. (2009) Behavior of Double Skin Composite Wall Subjected to In-Plane Cyclic Loading. *Journal of Structural Engineering*, **135**, 1239-1249. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000057](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000057)
- [14] 程春兰, 周德源. 带约束拉杆的双钢板-混凝土组合剪力墙承载力及变形分析[J]. 结构工程师, 2016, 32(1): 45-51.
- [15] 刘鸿亮, 蔡健, 杨春, 等. 带约束拉杆双层钢板内填混凝土组合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(6): 84-92.
- [16] Zhang, W., Wang, K., Chen, Y. and Ding, Y. (2019) Experimental Study on the Seismic Behaviour of Composite Shear Walls with Stiffened Steel Plates and Infilled Concrete. *Thin-Walled Structures*, **144**, Article 106279. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106279>
- [17] 张壮南, 李珊珊, 王春刚, 等. 设置混合连接件的双钢板混凝土组合剪力墙抗震性能研究[J]. 建筑结构学报, 2023, 44(S1): 92-100.
- [18] 沙振方, 徐文平, 杜铁琦, 等. 多腔式双钢板组合剪力墙抗震性能对比试验[J]. 土木工程与管理学报, 2022, 39(3): 61-66
- [19] 郭雄伟, 张先龙, 徐文平, 等. 多腔式双钢板组合剪力墙抗震试验与仿真[J]. 混凝土与水泥制品, 2022(3): 71-75.
- [20] 周观根, 李相勇, 周雄亮, 等. 一种桁架式多腔体钢板剪力墙及其操作方法[P]. 中国专利, CN201610313417.2, 2016-08-01.
- [21] 李晓蕾, 卢俊龙, 张超. RC 短肢剪力墙性能参数分析及指标研究[J]. 建筑结构, 2016, 46(15): 27-31.
- [22] 韩建红, 周观根, 舒赣平, 等. 桁架式多腔体钢板组合剪力墙抗震性能试验研究[J]. 工业建筑, 2020, 50(3): 13-18+50.
- [23] 石逸凡, 黄炎生. 新型外包钢板内置钢筋桁架混凝土组合剪力墙抗震性能有限元分析[J]. 广东土木与建筑, 2022, 29(6): 56-59.
- [24] 石逸凡. 新型外包钢板内置钢筋桁架混凝土组合剪力墙受力性能有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2022.
- [25] 曾衍衍, 黄炎生, 石逸凡. 新型外包钢板内置钢筋桁架混凝土组合剪力墙抗震性能参数分析[J]. 广东土木与建筑, 2023, 30(4): 51-55.
- [26] 祝志华. 钢筋桁架双层钢板内填混凝土组合剪力墙抗震性能研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广州大学, 2020.
- [27] 杨溥, 李英民, 赖明. 结构时程分析法输入地震波的选择控制指标[J]. 土木工程学报, 2000, 33(6): 33-37.

- [28] 练婷婷, 吴轶, 余懿轩. 钢筋桁架双层钢板内填混凝土组合剪力墙高层结构抗震性能研究[J]. 广东建材, 2023, 39(7): 74-82.
- [29] 练婷婷. 设竖缝螺栓连接带钢筋桁架装配式双层钢板混凝土组合剪力墙抗震性能研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广州大学, 2023.
- [30] 李光德. 钢筋桁架双层钢板内填混凝土组合剪力墙力学性能及设计方法研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2022.