

# 钢框架—轻钢墙体组合结构极限承载力研究

宋胜男 管宇 邢玉坤 何叶 杨锦

西安培华学院 智能科学与工程学院, 陕西西安, 710125;

**摘要:**为研究钢框架与轻钢组合墙体协同工作的力学性能, 推动钢框架—轻钢墙体组合结构在工业化建筑中的科学应用。本文参照钢框架—冷弯薄壁型钢组合墙体抗侧性能试验, 建立试验试件有限元分析模型, 通过与试验结果对比, 验证了有限元建模方法的可靠性。基于验证后的有限元模型, 对组合墙体中墙架柱间距和轻钢构件规格进行了变参数分析。研究表明: 减小墙架柱间距、增大轻钢构件截面尺寸会提高钢框架—轻钢墙体组合结构的极限承载力。研究成果为相关工程设计提供了理论依据与设计建议, 对推动建筑工业化与装配式钢结构体系的发展具有重要工程意义。

**关键词:** 钢框架; 冷弯薄壁型钢; 组合墙体; 极限承载力; 数值分析

**DOI:** 10. 64216/3080-1486. 25. 08. 052

## 引言

随着我国“双碳”战略的稳步推进和建筑工业化质量的不断提高, 装配式钢结构建筑<sup>[1]</sup>以其突出的抗震性能、快捷施工特性及环保优势, 已成为多高层住宅、公寓、学校等建筑结构的主流发展方向。钢框架—轻钢墙体组合结构体系<sup>[2]</sup>凭借其优越的协同工作效能、灵活的空间规划特性以及显著的经济效益, 受到工程领域与学术界的广泛重视。

近年来, 国内学者对钢框架—轻钢墙体组合结构的承载能力进行了深入研究。周天华等<sup>[3]</sup>对钢框架—轻钢复合墙板试件进行了低周往复加载试验研究, 分析了钢框架与轻钢复合墙板协同受力机制, 研究表明: 加载初期, 内填墙板承担约85%的水平荷载, 加载后期, 墙板逐渐退出工作, 钢框架承担主要水平荷载和倾覆弯矩。石宇等<sup>[4]</sup>对钢框架—冷弯薄壁型钢剪力墙试件进行了抗侧性能试验研究, 结果表明: 钢框架与冷弯薄壁型钢剪力墙组合后具有良好的抗侧性能, 前中期主要由冷弯薄壁型钢剪力墙承担水平荷载, 后期受力阶段主要由钢框架承担水平荷载。张铮等<sup>[5]</sup>考察了钢框架—冷弯薄壁型钢剪力墙结构的破坏模式和耗能机理, 研究表明: 受钢框架四周约束的冷弯薄壁型钢墙体整体性增强, 塑性性能得到改善, 可以充分发挥剪力墙的作用。刘深等<sup>[6]</sup>对钢框架—冷弯薄壁型钢墙体组合结构进行了拟静力加载试验, 研究表明: 将框架与剪力墙组合可以使剪力墙的破坏模式从龙骨边柱屈曲的脆性破坏改为龙骨骨架较好的延性破坏。褚云朋等<sup>[7]</sup>提出了一种层间加强连

接部件以提高组合墙体与钢框架的协同工作能力, 对层间加强部件进行了竖向轴压试验和水平荷载数值模拟分析, 得到了加强部件的承载能力和性能最优构造。郭彦利<sup>[8]</sup>对钢框架内嵌冷弯薄壁型钢复合墙体结构进行了数值模拟分析, 指出冷弯薄壁型钢复合墙体与钢框架之间剪力分配符合按刚度分配的原则, 抗侧刚度和剪力分配原则可用于多高层结构体系的弹性阶段设计。

钢框架—轻钢墙体组合结构由钢框架与内置轻钢龙骨组合墙体组成, 通过有效连接形成完整的抗侧力系统, 其受力机制在于融合钢框架与组合墙体两种结构性优势, 并借助组合墙体的蒙皮效应显著提升结构的整体刚度、承载能力及能量耗散效率。本文基于钢框架—冷弯薄壁型钢组合墙体结构抗侧性能试验结果, 采用ABAQUS软件建立有限元模型, 通过与试验对比验证了建模方法的正确性。基于验证后的有限元模型, 改变组合墙体中墙架柱间距和轻钢构件规格, 研究关键因素对钢框架—轻钢墙体组合结构极限承载力的影响。本研究为相关工程设计奠定了理论基础并提出了设计建议, 对促进建筑工业化及装配式钢结构体系的进步具有重要工程价值。

## 1 有限元模型建立及验证

参考文献<sup>[4]</sup>中钢框架—冷弯薄壁型钢组合墙体试件的构造尺寸, 见图1所示。其中, 框架尺寸为3600×3000mm, 框架柱规格为□160×160×6mm, 框架梁规格为HN175×90×5×8mm, 梁柱节点为外环加劲式刚性连接, 柱脚节点为竖向加劲刚性柱脚。冷弯薄壁型

钢龙骨墙体尺寸为 2785×2400mm，墙体边柱规格为 C89×50×10×1.6mm 和 U90×50×1.6mm，墙体中柱规格为 C89×50×10×1.6mm，墙体导轨规格为 U90×50×1.6mm，墙面板为 12mm 石膏板和 8mm 镁晶板，板边螺钉间距为 150mm，板内螺钉间距为 300mm，自攻螺钉规格为 ST5.5。

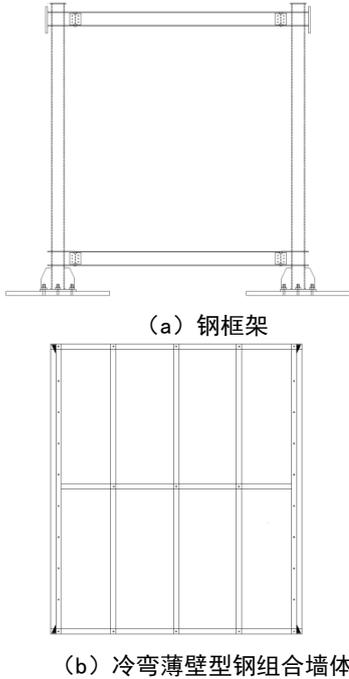


图 1 试验试件构造

Fig.1 Test specimen construction

采用 ABAQUS 软件建立试验试件的有限元模型。采用壳单元建立所有组成构件，网格尺寸为 30mm×30mm。钢材采用双线性等向强化本构模型，1.6mm 钢材的屈服强度  $f_y=378\text{MPa}$ ，抗拉强度  $f_u=490\text{MPa}$ ，弹性模量为  $2.20 \times 10^5\text{MPa}$ ，泊松比为 0.3；6mm 钢材的屈服强度  $f_y=415\text{MPa}$ ，抗拉强度  $f_u=542\text{MPa}$ ，弹性模量为  $2.11 \times 10^5\text{MPa}$ ，泊松比为 0.3；8mm 钢材的屈服强度  $f_y=398\text{MPa}$ ，抗拉强度  $f_u=518\text{MPa}$ ，弹性模量为  $2.05 \times 10^5\text{MPa}$ ，泊松比为 0.3。石膏板的抗弯弹性模量为 2511MPa，镁晶板的抗弯弹性模量为 3980MPa，泊松比为 0.2。自攻螺钉连接采用 Connector 单元模拟，上侧单元建立 Slide plane 属性，下侧单元建立 Slide plane+Align 属性。采用 Tie 约束来模拟高强螺栓连接。采用面一面的接触方式模拟各构件之间的接触关系，其中切向接触采用 Penalty 函数，法向接触采用 Hard contact。约束框架柱脚底部所有自由度以模拟固定边界条件。参照试验的加载方式，设置加载点，以施加水

平荷载。对有限元模型进行数值模拟分析，得到模型的骨架曲线结果与试验结果对比见图 2。由图可知，有限元模型的骨架曲线整体变化趋势和试验曲线较为吻合，其极限承载力有限元分析结果和试验结果之间的误差小于 10%，吻合度较好。表明有限元建模方法正确、合理，有限元模型可靠。

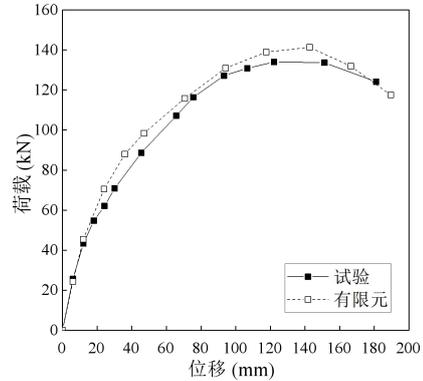


图 2 模型骨架曲线有限元结果与试验结果对比

Fig.2 Skeleton curve of the finite element model results compared with the test results

## 2 影响因素分析

基于验证后的有限元模型，改变组合墙体中墙架柱间距和轻钢构件规格，研究关键因素对钢框架—轻钢墙体组合结构极限承载力的影响。

### 2.1 墙架柱间距的影响

对 7 个不同墙架柱间距的有限元模型进行模拟分析，墙架柱间距从 300mm 至 1200mm，模型参数及有限元分析结果见表 1。

表 1 不同墙架柱间距模型参数

Table 1 Model parameters of different wall stud spacings

模型编号	墙架柱间距/mm	极限承载力/kN
M1	300	150.16
M2	450	147.12
M3	600	141.33
M4	750	135.45
M5	900	130.43
M6	1050	127.54
M7	1200	122.43

由表可知，相对于模型 M1，当墙架柱间距由 300mm 增至 1200mm 时，模型的极限荷载分别降低 2.0%、5.9%、9.8%、13.1%、15.1%和 18.5%。随着组合墙体立柱间距的逐渐增大，结构的抗侧承载力均呈逐渐降低的趋势。在组合墙体结构中，墙架柱是关键承重构件，其间距设

置直接影响墙体的抗侧性能。根据建筑行业标准《低层冷弯薄壁型钢房屋建筑技术规程》，墙架柱的间距通常设置在400mm至600mm范围内，建议钢框架—轻钢墙体组合结构中墙架柱间距选为600mm。

### 2.2 轻钢构件规格的影响

对4个不同轻钢构件规格的有限元模型进行模拟分析，墙架柱和导轨的规格分别为C60×30×10×1.6和U60×30×1.6、C90×50×10×1.6和U90×50×1.6、C120×60×15×1.6和U120×60×1.6、C140×70×20×1.6和U140×70×1.6，模型参数及有限元分析结果见表2。

表2 不同轻钢构件规格模型参数

Table 2 Model parameters of different light steel components specifications

模型编号	墙架柱规格/mm	导轨规格/mm	极限承载力/kN
D1	C60×30×10×1.6	U60×30×1.6	136.44
D2	C90×50×10×1.6	U90×50×1.6	141.33
D3	C120×60×15×1.6	U120×60×1.6	147.54
D4	C140×70×20×1.6	U140×70×1.6	150.32

由表可知，相对于模型D1，随着组合墙体中轻钢构件尺寸的增大，模型的极限荷载分别提高3.6%、8.1%和10.2%。随着组合墙体轻钢构件规格的逐渐增大，结构的抗侧承载力均呈逐渐增加的趋势。在组合墙体结构中，墙架柱和导轨是关键组成构件，其规格尺寸直接影响墙体的抗侧性能。依据建筑行业标准《冷弯薄壁型钢多层住宅技术标准》，建议钢框架—轻钢墙体组合结构中轻钢构件规格不宜低于C90×50×10×1.6mm和U90×50×1.6mm。

### 3 结论

钢框架主要承担竖向荷载及倾覆弯矩作用，轻钢墙体则通过蒙皮效应提供主要抗侧刚度。二者通过协同工作，显著提升了结构整体承载力、刚度与延性性能，从而形成高效抗侧力体系。在工程设计中，可通过调整轻钢墙体墙架柱间距及提升轻钢构件规格，有效增强钢框架—轻钢墙体组合结构的承载性能。在工程应用中，发展钢框架—轻钢墙体组合结构对推动建筑工业化转型

具有重大意义。该结构充分发挥材料性能优势，兼具轻质高强、抗震性能好、施工快捷等特点，能显著提升建筑安全性与建造效率。其符合绿色建筑与“双碳”战略要求，有效减少碳排放与资源消耗，为装配式钢结构体系在高烈度区及住宅、学校等民用建筑的规模化应用提供了关键技术支持，经济与社会效益显著。

### 参考文献

[1]肖顺,高润东,王卓琳.装配式钢结构建筑体系研究进展[J].建筑结构,2025,55(13):37-50.

[2]周天华,王继琴,邵英豪,等.弱框架-轻钢复合墙体装配式房屋结构体系[J].建筑科学与工程学报,2022,39(01):36-43.

[3]周天华,王继琴,吴函恒,等.装配式钢框架-内填轻钢复合墙板结构抗震性能试验研究[J].工程力学,2023,40(07):217-227.

[4]石宇,高畅,徐云鹏,等.钢框架-冷弯薄壁型钢剪力墙结构抗侧性能试验研究[J/OL].工程力学,2023,12:1-12.

[5]张铮,陈笃海,江忠画,等.钢框架-冷弯薄壁型钢剪力墙结构抗震性能试验研究[J].建筑钢结构进展,2022,24(06):11-19.

[6]刘深,冯若强.钢框架-冷弯薄壁型钢墙体组合结构抗震性能研究[J].建筑结构学报,2023,44(08):76-87.

[7]褚云朋,钟燕,伏金蓉,等.多层冷弯薄壁型钢组合墙体-钢框架混合结构的推覆性能分析[J].西南科技大学学报,2021,36(04):38-44+53.

[8]郭彦利.钢框架-内嵌冷弯薄壁型钢复合墙体静力抗侧性能与设计方法[J].宁夏大学学报(自然科学版),2018,39(01):54-60.

作者简介：宋胜男（1987-），女，硕士，副教授，主要从事钢结构抗震方面的研究。

基金项目：西安培华学院校级科研项目—装配式钢框架内填轻钢复合墙体结构抗震机理及智能设计方法研究(PHKT2514)。