

“2+1”型填充墙钢框架力学性能分析

赵国良 王诚杰 金坎辉

(河北水利电力学院, 河北 沧州 061001)

【摘要】建筑钢结构是现代建筑行业的主要发展趋势, 填充墙是高层钢结构建筑的重要组成部分。大量研究表明填充墙对钢结构的刚度、承载力均有不同程度的影响。本文为了研究带填充墙对钢框架的力学影响, 文章利用非线性有限元软件对 1:3 缩尺模型带填充墙钢框架进行单荷载、低周反复试验, 计算带填充墙钢框架结构力学影响因素。试验结果表明: “2+1”型填充墙钢框架中, 在水平荷载作用下, 此种填充墙可以提升整个钢框架的刚度, 而且在循环荷载作用下, 钢结构的整体耗能性比较高, 因此在钢框架中需要优化“2+1”填充墙设计方案。

【关键词】填充墙; 钢框架结构; 力学性能; 有限元分析

引言:

随着建筑行业新常态发展, 构建绿色建筑结构成为降低能耗、提升建筑舒适度的重要举措。与传统结构形式相比, 钢框架建筑具有自重轻、绿色环保、抗震性能好、可重复使用的特点, 能够有效满足新时代建筑行业高质量发展的要求。填充墙是钢框架建筑的重要组成部分, 框架结构刚性填充墙设置的合理与否, 会直接关系到结构的动力特性和房屋的地震安全。因此为了深入剖析填充墙对钢框架力学的影响, 运用非线性有限元软件对填充墙模型进行试验, 以此提升钢框架建筑质量提供富有成效的意见。

一、填充墙钢框架力学性能研究的意义

填充墙是现代建筑的重要组成部分, 填充墙对钢框架的刚度、承载力、塑性发展以及层间位移都会发生较大的变化。实践证明带填充墙钢框架墙体具有以下优势: 填充墙钢框架结构的水平刚度比钢框架结构的本身高度要高, 尤其此种结构具有自重轻的特点, 可以有效提升钢框架的抗震性。例如通过计算带填充墙的结构可以吸收地震能量, 保护钢框架的整体框架。但是由于填充墙对钢框架结构的影响受诸因素制约, 因此为了精准掌握填充墙对钢框架的影响, 需要我们加强填充墙钢框架力学性能研究: 首先通过计算填充墙对钢框架结构的力学影响, 可以准确研究填充墙框架结构的受力情况与钢框架受力之间的关系, 以此探究填充墙对钢框架抗侧力性能的影响, 从而进一

步优化填充墙的整体设计方案; 其次计算带填充墙钢框架力学研究能够分析填充墙在水平受力情况下对钢框架强度的影响程度, 准确计算出填充墙在水平受力情况下对钢框架建筑的影响, 为构建新型填充墙施工方案提供数据依据。

二、非线性有限元分析

(一) 带填充墙钢框架模型的建立

有限元分析是将数学、力学以及计算机学科相互融合并且应用到实际工程的边缘科学。有限元分析方法可以在分析复杂模型时等效模拟成为不同形状的求解区域。为了精准分析待填充墙钢框架力学性, 通过 1:3 缩尺模型钢结构框架进行试验计算, 对比钢框架的刚度、屈服荷载, 揭示大块体全断桥保温外墙平面内对框架结构的刚度 (尤其是初期刚度)、承载力的影响程度。本文中填充墙与框架梁、柱之间的相互作用是采取 MATLAB 编程 SPRINGA 非线性弹簧单元模拟实现的。

钢框架的主要材料是钢体, 所以本文对于钢框架的力学研究采取的是随机强化数据模型, 钢材受力曲线采取三折线模型 (见图 1)。具体的加力设备为多通道全数字的电液伺服系统, 通过该设备提供水平荷载, 具体的加压方式为伺服系统设备位移行程界定在 +120mm 范围内, 加力荷载为 0-1000KN, 这样可以准确地对钢框架的力学进行动态调整。同时采取 2 台液压千斤顶对钢框架进行竖向荷载, 在整个试验过程中

监测人员需要根据试验数据变化调整液压油泵，以此保证试验顺利实施。

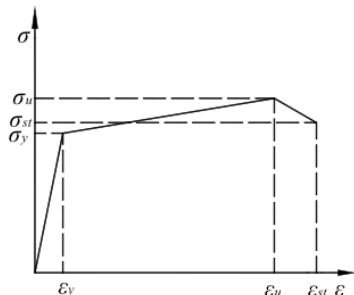


图 1：钢材应力应变变化模型

（二）有限元的计算与分析

1. 钢框架结构的荷载 - 位移曲线和滞回曲线。经过有限元计算基本时间在单调荷载作用下的，当荷载 $p < 52.4\text{ kN}$ 时，带填充墙钢框架就会处在弹性阶段，当荷载力达到 81.3 kN 时，位移达到 35.66 mm ，随后钢框架的填充墙就会出现裂缝现象，并且钢框架建筑的承载力就会呈现下降的趋势。当试验件位移达到 67.12 mm 时，钢框架就会进入到极限承载力界限 (90.2 kN)，随后钢框架就会呈现为塑性表征，同时随着荷载作用的加大，钢框架的整体承载力就会朝着下降的趋势发展。

在对钢框架填充墙力学分析时需要考虑到滞回曲线，其主要是“2+1”型填充墙在循环荷载作用下出现的荷载 - 变形曲线图，其主要是分析构建抗震性能的重要数据。由于钢结构在地震中可以吸收能量，因此滞回曲线的饱和度可以直接反映结构的耗能。例如滞回曲线饱和度越高，结构的耗能能力就越强，其抗震性能就会越高。“2+1”型的填充墙在循环荷载作用下，由于其内在强度比较大，因此通过实验绘制的滞回曲线呈现弓形，而且其曲线存在较为明显的捏缩响应，这主要是由于“2+1”型填充墙带有一定的缓冲性能，其在水平荷载作用下会因为剪切变形而出现滑移，并且此种现象随着荷载增大而不断加剧。

2. 填充墙的受力分析通过分析，“2+1”型填充墙的受力范围主要是按照外部受力方向的对角范围。例如在通过持续循环荷载作用下，填充墙的角部与刚看见的梁柱部门出现了应力集中现象，而且该区域的受力变化最大，受力对角之外的区域所承受的应力比较小。通过分析在外力作用下“2+1”型填充墙的抗侧力主要是对角区域内提供的，并且随着受力应力的

增大，填充墙会出现裂缝，而且裂缝主要是朝着对角线的方向出现，此时填充墙的应力也会下降。

为了进一步研究填充墙对钢框架的受力性能，选择无填充墙的钢框架结构进行对比分析。无填充墙的钢框架试验件与带填充墙钢框架结构完全一致，通过计算得出：不带填充墙钢框架结构的初期刚度要明显低于带填充墙钢框架结构的刚度，但当填充墙开裂后，两者的极限承载力非常接近。

三、影响带填充墙钢框架结构受力性能的因素

通过上述分析轴压比、高跨比以及墙体厚度都是影响带填充墙钢框架结构受力性能的重要因素。例如金晓飞等人通过分析发现带内嵌墙板钢框架结构在起初刚度及承载力都会随着墙体厚度的增加而增加，因此结合上述非线性有限元分析结果，详细阐述上述三因素对带填充墙钢框架受力的具体影响。

（一）轴压比对带填充墙钢框架结构受力性能的影响

轴压比主要分为单调荷载和反复荷载。轴压比对带填充墙钢框架结构单向加载受力的影响分析的关键就是计算钢框架核心部分的承载力和刚度。通过表 1 可以看出，在单调荷载作用下，初始刚度对于轴压比模型的影响是不同的，但是其差别比较小。例如在不同的初始刚度下，不同轴压比模型的承载力机会没有出现较大的差异，而且在弹性工作阶段，轴压比下轴压比模型的极限荷载也没有出现较为明显的差异，但是随着单调荷载位移的扩大，在轴压比模型的二层的加载位置出现了分层的现象，而且钢框架轴压比越大，结构体系的承载力就越小。

表 1：单调荷载作用下轴压比模型的承载力和刚度

模型编号	模型 01	模型 02	模型 03
屈服荷载 (KN)	53.6	53.8	52.4
极限荷载 (KN)	101.3	100.3	96.9
初始刚度 (N/mm)	1511.3	1503.4	1467.4

带填充墙钢框架结构在低周反复荷载作用下的滞回曲线形状基本相同，都是反 S 形，可见具有明显的捏拢现象，而且随着轴压比的不断增加，此种现象更加突出。通过计算轴压比每提高 0.2%，带填充墙钢框架结构的屈服荷载就会降低 4%，极限承载力也会下降 4% 左右。因此轴压比的改变对带填充墙钢框架结构受力性能的影响比较小，并且随着轴压比的增

加，结构的承载力呈现小幅的下降趋势。

(二) 高跨比对带填充墙钢框架结构受力性能的影响

通过计算分析，在单调水平荷载作用下，“2+1”型填充墙的强度和刚度会受高跨比的影响。但是在弹性工作阶段时不会出现较为明显的变化，由此可见高跨比对于“2+1”型填充墙钢框架屈服承载力的影响较小，但是当荷载增加后，出现荷载-位移曲线分离现象，说明在相同位置的水平位移，结构的高跨比越小，结构的承载力和初始刚度就会越高。同样带填充墙钢框架模型中发现，滞回曲线形状基本相同，都是反S形，根据数据统计当荷载作用下位移达到29.84mm时钢框架达到屈服，屈服荷载为44.7kN，水平位移为90.24mm时达到极限位移，极限荷载为93.9kN。可见高跨比对于带填充墙钢框架结构受力影响比较大，高跨比下降14%，极限承载力就会提高7%到10%。根据滞回曲线分析得出刚度退化曲线（见图2所示），当高跨比下降14%，模型的初始刚度就会提高3%左右，而且随着位移荷载的增加，模型刚度退化曲线的下降趋势呈现相应的规律，并且下降趋势保持相对一致。

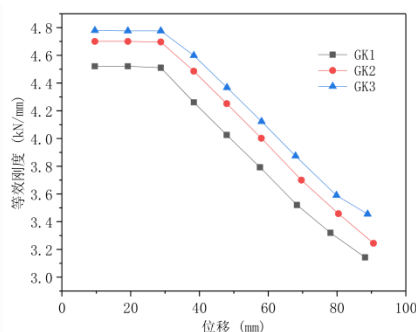


图2：高跨比模型刚度退化曲线图

(三) 墙体厚度对带填充墙钢框架受力性能的影响

一般随着墙体厚度的增加无疑会增加整个建筑结构的屈服荷载和极限荷载，通过表2可见，墙体厚度的改变对钢框架的受力具有重要的影响，例如当墙体厚度由100mm提高至125mm时，钢框架结构的屈服荷载和极限荷载就会分别提高9.92%和9.22%。当墙体厚度增加50mm时，其屈服荷载和极限荷载则会提高7%左右。但是低周往复荷载作用下，墙体厚度的变化对钢框架力学会产生巨大的影响，墙体厚度每增加30mm，结构屈服荷载就会上涨10%左右，而极限荷载会提升7%左右。例如带填充墙钢框架结构模型

在加载位移为32.49mm时就会达到屈服，屈服荷载的压力为50.8kN，水平位移为88.68mm时达到极限位移，极限荷载力为102.4kN。

表2：墙体厚度在单调荷载作用下的强度和刚度

模型	QH1	QH2	QH3
屈服荷载 (KN)	53.8	59.2	63.7
极限荷载 (KN)	100.1	109.3	116.4
初始刚度 (N/mm)	1502.6	1651.6	1777.5

四、结束语

总之，随着我国装配式建筑的发展，钢框架结构建筑成为建筑行业的发展趋势，“2+1”型填充墙可以有效提升钢框架结构的整体性能，提升钢框架结构的抗震性。本文通过运用有限元软件构建“2+1”型填充墙钢框架模型，并且采取单调加载和低周往复循环荷载模型，分别计算其对钢框架的力学影响，以此表明“2+1”型填充墙钢框架力学受轴压比、高跨比以及墙体厚度等因素的影响。

参考文献：

- [1] 张宇康，孔璟常，赵伟通，曲淑英.带构造柱填充墙平面外受力性能的有限元模拟研究[J].烟台大学学报(自然科学与工程版)2021(02):217-219
- [2] 李相学，王小平，万良东.钢框架——填充墙组合墙体研究现状[J].建材世界2020(04):67-69
- [3] 朱杰银.不同新型填充墙钢框架结构受力性能的研究[D].成都理工2019
- [4] 王薇，张长浩，刘乐招.装配式混凝土框架-填充墙力学性能影响因素分析[J].建筑结构2019(13):114-116
- [5] 邹昀，张鹏飞，王强.带填充墙的钢框架受力性能分析[J].工程力学2013(06):120-122
- [6] 谢贤鑫，张令心，曲哲，等.面内往复荷载作用下足尺填充墙的易损性研究[J].建筑结构学报，2020(06):161-169.

项目名称：“2+1”型结构保温一体化墙板平面内力学性能研究（项目编号：A202001029）

作者简介：赵国良（1985.4—），硕士，讲师，研究方向：混凝土材料、结构抗震。