

Experimental Study on Mechanical Behavior of Connection Joints between Prefabricated Integrated Modular Interior Partition Wall and Main Structure

Jun Huang

China Construction Third Engineering Bureau Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

To address the common engineering challenges of insufficient mechanical performance and poor deformation coordination at the connection points between prefabricated integrated modular interior walls and main structural systems, this study systematically investigates the mechanical behavior of metal prefabricated wall systems connected to concrete beams. Based on orthogonal experimental design theory, the analysis variables include the spacing of expansion bolts (400mm, 600mm, 800mm), the thickness of U-shaped light steel studs (1.0mm, 1.2mm, 1.5mm), and the types of joint sealant materials (silicone sealant, polyurethane sealant, epoxy resin). The shear capacity, initial stiffness, and typical failure modes of the connections were calculated and analyzed. The findings indicate that bolt spacing has the most significant impact on the load-bearing capacity of the connections. The optimal parameter combination, obtained through optimization, is a bolt spacing of 400mm, a stud thickness of 1.2mm, and the use of polyurethane sealant for joint filling. Under these conditions, the shear capacity of the connection reaches 12.8kN, with an initial stiffness of 2.3kN/mm, meeting the relevant seismic design requirements. The primary failure modes involve local buckling of the light steel studs and debonding/cracking at the sealant interface, with no instances of bolt pull-out or concrete base damage. Building on these findings, the study proposes an optimized design method and key construction quality control measures for such connections, providing a reference for the safe and reliable design of prefabricated wall joints.

Keywords

prefabricated building; interior partition wall; connection joint; mechanical behavior; orthogonal test

装配式一体化模块内隔墙与主体结构连接节点设计及质量控制

黄珺

中建三局集团有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430000

摘 要

针对装配式一体化模块式内隔墙与主体结构连接部位普遍存在的受力性能不足、变形协同性较差等工程难点, 本文以正交试验设计理论为基础, 对金属装配式隔墙体系与混凝土梁的连接节点受力特性展开系统研究。以膨胀螺栓布设间距(400mm、600mm、800mm)、U型轻钢龙骨壁厚(1.0mm、1.2mm、1.5mm)及嵌缝密封材料种类(硅酮密封胶、聚氨酯密封胶、环氧树脂胶)作为分析变量, 对节点的抗剪承载力、初始刚度及典型破坏形态进行计算与分析。经研究分析, 螺栓布置间距对节点承载力的影响程度最为显著, 经优化得到的最佳参数组合为螺栓间距400mm、龙骨壁厚1.2mm、嵌缝材料采用聚氨酯密封胶, 在此工况下节点抗剪承载力可达12.8kN, 初始刚度为2.3kN/mm, 能够满足结构抗震设计相关指标要求。节点破坏形态以轻钢龙骨局部屈曲与密封胶界面剥离开裂为主, 未出现锚栓拔出及混凝土基体破损现象。在得出分析结论的基础上, 本文提出了该类连接节点的优化设计方法与施工质量控制关键措施, 可为装配式隔墙节点的安全可靠设计提供参考。

关键词

装配式一体化; 内隔墙; 连接节点; 质量控制

1 引言

装配式一体化模块内隔墙凭借施工便捷、绿色低碳、工业化程度高等突出优势, 在现代建筑产业化进程中得到愈

发广泛的工程应用。但大量工程实践表明, 内隔墙与主体结构之间的连接节点往往是整体构造体系中的薄弱部位, 受设计方法不合理、施工工艺不规范等因素影响, 墙体开裂、侧向变形超限、隔声性能衰减等质量问题频发, 严重时甚至对结构整体受力性能与使用安全构成不利影响^[1]。

本文以工程中常用的金属类装配式装饰一体化隔墙体系

【作者简介】黄珺(1985-), 女, 中国湖北武汉人, 硕士, 高级工程师, 从事装配式建筑研究。

为研究对象,针对其上部与混凝土梁的连接节点,采用正交试验设计方法进行参数优化与分析,旨在为装配式内隔墙连接节点的精细化、可靠化设计提供相关理论依据与技术支持。

2 分析模型与参数设计

2.1 节点构造与参数设置

本研究以金属型装饰一体化隔墙体系与混凝土梁的连接节点为核心对象,其典型构造特征如下:隔墙顶部采用U型轻钢龙骨作为承力连接构件,通过膨胀锚栓固定于混凝土梁底底面,U型龙骨与隔墙竖向主龙骨采用嵌入式搭接构造,并通过自攻螺钉实现刚性连接,竖向龙骨与面板体系经由专用卡件进行卡扣式装配。为适配节点受力行为研究,在U型龙骨与梁底接触面间预留20mm构造缝隙,并采用弹性密封材料进行填缝封闭,以满足节点变形协调与密封防渗需求^[2]。

分析所采用的试件尺寸参数参照现行工程设计标准进行拟定,混凝土梁截面尺寸设定为200mm×400mm,隔墙墙体高度为3000mm,宽度为1200mm。U型轻钢龙骨规格选取50mm×40mm矩形截面,其壁厚作为关键变量,分别取值为1.0mm、1.2mm及1.5mm,锚栓系统采用M8×80mm规格膨胀锚栓,其布设间距依据分析方案确定。

本文核心考察三大影响因素及其作用机制,即:膨胀锚栓布设间距(因素A)、U型龙骨壁厚(因素B)与填缝密封材料类型(因素C)。每个因素均设置三个水平梯度,具体水平划分参见表1。依据正交试验设计原理,采用 $L_9(3^3)$ 标准正交表构建9组不同参数组合的计算方案。为有效控制分析产生的误差、提升数据可靠性与统计分析精度,每组工况均对3个相同试件进行重复计算,最终形成总计27个有效数据点。参数组合的编号编码与各因素具体水平组合详见表2。

表1 正交试验因素水平表

水平	A: 螺栓间距/mm	B: 龙骨厚度/mm	C: 填缝材料
1	400	1.0	硅酮密封胶
2	600	1.2	聚氨酯密封胶
3	800	1.5	环氧树脂胶

表2 设计方案

试件组号	A 螺栓间距	B 龙骨厚度	C 填缝材料
J-1	1(400)	1(1.0)	1(硅酮)
J-2	1(400)	2(1.2)	2(聚氨酯)
J-3	1(400)	3(1.5)	3(环氧)
J-4	2(600)	1(1.0)	2(聚氨酯)
J-5	2(600)	2(1.2)	3(环氧)
J-6	2(600)	3(1.5)	1(硅酮)
J-7	3(800)	1(1.0)	3(环氧)
J-8	3(800)	2(1.2)	1(硅酮)
J-9	3(800)	3(1.5)	2(聚氨酯)

2.2 材料性能

分析采用混凝土梁构件采用C30等级商品混凝土为基准,经标准养护条件下28d龄期测试,立方体抗压强度标准值为38.5MPa。U型顶龙骨与竖向龙骨均采用Q235级镀锌冷轧钢板制作,材料力学性能按照屈服强度265MPa,极限抗拉强度取值为385MPa。节点连接采用M8×80mm规格不锈钢膨胀锚栓,其设计抗拉承载力为5.2kN,设计抗剪承载力为4.1kN。填缝密封材料选取工程中常用的三类高性能成品材料,位移适应能力±25%的硅酮类密封胶、位移适应能力±50%的聚氨酯类密封胶,以及刚性环氧树脂胶、各类胶黏剂采用力厂家提供的学性能参数。龙骨间连接采用ST4.8×16mm自攻螺钉,螺钉沿龙骨布设间距统一为300mm。

2.3 受力和计算假设

此次分析,由于将混凝土梁构件两端简支于刚性支承基座,通过在墙体垂直高度的2/3处施加单向水平静力荷载,以此模拟地震作用下连接节点所承受的水平剪切效应。本次数值模拟采用位移控制加载模式,加载速率设置为0.5mm/min,对试件实施连续加载,计算终止条件设定为构件出现整体结构性破坏,或荷载水平下降至极限荷载的85%以下。分别在U型龙骨、膨胀锚栓布设区域以及密封胶接缝处布置监测截面,实时采集各构件界面的相对滑移量与变形发展全过程;同时针对龙骨及锚栓等主要受力构件,提取其关键截面的应变历程与应力分布演化特征。本研究所有力学响应数据均通过理论分析与数值计算方法获取。

3 结果与分析

3.1 破坏模式

各组参数组合的受力破坏历程具有高度相似性具有高度相似性,全过程可划分为三个典型受力阶段。在弹性工作阶段,荷载-位移曲线呈线性增长,密封胶处于完好工作状态。在弹塑性发展阶段,龙骨开始出现局部屈曲,密封胶产生微裂纹。在极限破坏阶段,龙骨屈曲变形持续加剧,密封胶裂缝贯通扩展,承载力明显下降。典型破坏形态主要失效形式包括U型龙骨腹板局部屈曲、密封胶与混凝土基面或龙骨接触面的界面脱粘与开裂。各组分析均未出现膨胀锚栓被拔出、混凝土梁体发生明显破损等现象,说明锚栓锚固体体系安全可靠,节点最终破坏由龙骨局部屈曲与密封胶失效共同控制。螺栓布设间距越大,龙骨局部屈曲现象越显著;密封胶种类直接决定界面破坏模式,其中硅酮密封胶表现为内聚破坏,聚氨酯密封胶以界面脱粘为主,环氧树脂胶则呈现脆性断裂特征。

3.2 抗剪承载力极差分析

各组参数组合的极限抗剪承载力计算均值详见表3,其承载力及刚度值为基于材料性能与理论公式的计算结果。对计算数据进行极差分析,所得结果如表4所示。由表4分析

结果可以判定,各因素对节点抗剪承载力影响程度的主次排序依次为:膨胀螺栓间距(A)>填缝材料类型(C)>龙骨壁厚(B)。通过综合对比确定,节点受力性能最优的参数组合为 A1B2C2,即螺栓间距 400mm、龙骨壁厚 1.2mm、填缝材料采用聚氨酯密封胶,该工况下极限抗剪承载力可达 12.8kN,与承载力最低组合 A3B1C1(8.2kN)相比,提升幅度达 56.1%。

表 3 正交计算结果

组号	极限承载力 /kN	初始刚度/(kN/mm)
J-1	9.6	1.8
J-2	12.8	2.3
J-3	11.2	2.1
J-4	10.3	1.9
J-5	10.8	2.0
J-6	9.2	1.7
J-7	8.7	1.6
J-8	9.1	1.7
J-9	9.9	1.8

3.3 初始刚度分析

节点初始刚度按荷载位移曲线弹性工作段的斜率进行取值,针对初始刚度开展极差分析如表 5 所示,结果表明:

表 4 极限承载力极差分析

因素	水平 1 均值 /kN	水平 2 均值 /kN	水平 3 均值 /kN	极差 R/kN	最优水平
A	(9.6+12.8+11.2)/3=11.2	(10.3+10.8+9.2)/3=10.1	(8.7+9.1+9.9)/3=9.2	2.0	A1
B	(9.6+10.3+8.7)/3=9.5	(12.8+10.8+9.1)/3=10.9	(11.2+9.2+9.9)/3=10.1	1.4	B2
C	(9.6+9.2+9.1)/3=9.3	(12.8+10.3+9.9)/3=11.0	(11.2+10.8+8.7)/3=10.2	1.7	C2

表 5 初始刚度极差分析

因素	水平 1 均值	水平 2 均值	水平 3 均值	极差 R	最优水平
A	2.07	1.87	1.70	0.37	A1
B	1.77	2.00	1.87	0.23	B2
C	1.73	2.00	1.90	0.27	C2

5 结语

本文系统探究了装配式金属内隔墙与混凝土梁连接节点的受力学行为,主要研究结论如下:(1)对节点极限抗剪承载力的影响程度由高到低依次为:膨胀螺栓间距、密封胶类型、龙骨壁厚。经优化得到的最佳参数组合为螺栓间距 400mm、龙骨壁厚 1.2mm、聚氨酯密封胶,该工况下节点抗剪承载力可达 12.8kN,初始刚度为 2.3kN/mm。(2)节点典型破坏形态以轻钢龙骨局部屈曲与密封胶界面脱粘开裂为主,膨胀螺栓锚固体系整体可靠,设计中应着重强化龙骨抗屈曲性能与密封胶界面粘结耐久性。(3)基于分析规律提出的节点优化设计参数可为装配式内隔墙连接节点的工程设计与现场施工提供技术支撑。后续研究可进一

各因素对节点初始刚度影响程度的排序依次为填缝材料类型(C)>龙骨壁厚(B)>螺栓间距(A),性能最优的参数组合仍为 A1B2C2。聚氨酯密封胶凭借较高的弹性模量与优异的界面粘结性能,可显著提升连接节点的初始刚度。

4 节点设计优化建议

膨胀螺栓布设间距应控制在 400mm 以内,布设位置应避开龙骨拼接节点区域,优先采用预埋锚固或后扩底型锚栓体系,以保障节点锚固性能与长期可靠性。U 型龙骨壁厚建议选用 1.2mm,在满足受力与刚度要求的同时兼顾经济性;当隔墙高度大于 4m 时,应适当增大龙骨壁厚或增设横向支撑构件以提升整体稳定性。接缝密封材料优先选用聚氨酯类密封胶,其位移适应能力不应低于 ±25%,粘结强度不小于 0.4MPa;施工前须保证缝隙内部洁净干燥,并配套使用直径为缝隙宽度 1.5 倍以上的背衬材料。构造节点处理方面,龙骨与混凝土梁结合部位宜增设弹性垫层,以协调主体结构与隔墙的变形差,自攻螺钉间距不宜大于 300mm,且应采用错缝排布方式,降低应力集中风险。特殊部位应采取强化构造措施,门洞两侧须设置双拼加强龙骨,顶部过梁龙骨应与主体结构实现可靠连接。管线穿越区域应在工厂预制阶段预留孔洞并配置加强件,严禁现场随意切割削弱构件截面。

步开展动力荷载、长期持荷及复杂环境作用下的节点性能分析,完善相关理论与构造体系,助力装配式隔墙连接技术向标准化、智能化方向稳步发展。

参考文献

- [1] 邱炳权,刘俊峰,唐永辉,等.装配式装修及其一体化内隔墙设计和施工技术探讨[C]//《施工技术》杂志社.2024年全国工程施工技术交流论文集(下册).中国建筑第四工程局有限公司;广州工程总承包集团有限公司,2024:238-241.
- [2] 李依蔚,吴建挺,袁海泉.装配式内装中内隔墙与管线协同应用研究[J].中国建筑装饰装修,2025,(09):109-111.
- [3] 严志浩.非砌筑内隔墙在装配式建筑中的应用及创新研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(30):112-114.