

冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体抗震性能研究进展

秦佳

内蒙古科技大学土木工程学院, 内蒙古 包头 014017

摘要: 相较于传统冷弯薄壁型钢墙体, 冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土复合结构在整体刚度与抗震性能方面表现更为优异。本文通过整合国内外典型试验成果, 系统探讨轴压比、混凝土强度、截面形式、剪跨比及水平拉条配钢率等参数对墙体抗震性能的影响规律, 并针对现有研究提出此类墙体在抗震性能方面的研究方向。

关键词: 轻钢泡沫混凝土剪力墙; 有限元分析; 泡沫混凝土; 轴压比; 剪跨比; 抗震性能; 水平配钢量

DOI: 10.63887/jeti.2025.1.3.3

引言

冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土复合剪力墙组合结构是一种新形式的钢-混凝土组合结构, 该结构一般包括由边立柱、中立柱、导轨、支撑等构件组成的支撑机构; 通过自攻螺钉连接在立柱和导轨两侧的覆面墙板机构, 以及在覆面板机构内填充的泡沫混凝土组成。此外, 该结构具有保温隔热隔音性能好、抗震性能强、自重轻、空间利用率高、施工便捷、建造方式高度集成、造价低、节能环保等优点。

这种复合结构有望在克服传统建筑结构弊端的同时, 充分整合两种材料的长处, 满足现代建筑对结构强度、抗震性能、保温隔热、隔音防火以及施工效率等方面的苛刻要求。深入探究复合墙体的力学响应、构造优化和施工工艺, 对提升建筑抗震性能、推动行业技术革新具有重要意义。本文通过梳理现有研究成果, 聚焦影响墙体的关键影响因素, 为后续研究提供参考。

一、泡沫混凝土构造做法

传统发泡混凝土是指在含有水泥、石料和外加剂存在的浆料中, 预先加入高速搅拌或已成型的均匀发泡的泡沫后, 经充分搅拌、养护

成型后, 最终得到轻质发泡混凝土。

而最新的轻质多孔泡沫混凝土则是通过物理或化学发泡工艺成型。相较于加气混凝土, 泡沫混凝土无需蒸汽养护, 且孔结构独立封闭, 显著降低导热系数^[1]。

二、冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体构造做法

相较于通过螺钉将冷弯薄壁型钢骨架与墙面板连接在一起的传统冷弯薄壁型钢墙体相比。冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体采用在传统冷弯薄壁型钢墙体骨架中浇筑泡沫混凝土而制成的^[2]。

冷弯薄壁型钢泡沫混凝土墙体的在实验室的传统做法有两种, 第一种为将两面墙板通过螺钉与冷弯薄壁型钢骨架拼装好后, 在墙体外侧, 使用模板和框架固定墙体, 最后再采用泡沫混凝土进行进行分层浇筑; 第二种为覆盖一面墙板后, 平躺浇筑泡沫混凝土。

三、冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体加载方法

冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土剪力墙低周往复荷载试验与传统的冷弯薄壁型钢剪力墙加载方法基本一致, 但所需的制动器与千斤顶要

求更高。

(一) 试验所设备及数量

MTS液压伺服作动器1台、反力架1个、液压千斤顶1个、静态应变测试系统1套、侧向滚动支撑2个、顶杆式位移计或拉线位移计若干。位移均需超过±250mm。

实验装置安装如图1所示

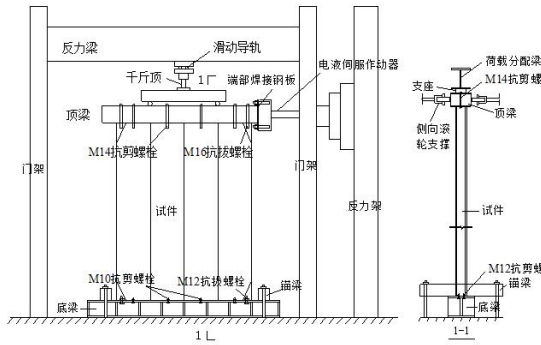


图1 实验装置图

(二) 加载制度

试验包括竖向加载和水平加载两个部分。试验在进行正式加载之前需要先对构件进行预加载，确保实验装置与加载设备之间反应正常，使得边立柱、中立柱与导轨在拼装过程中产生的间隙得以消除。

试验竖向荷载需对荷载采用力控制加载。对试件分级施加竖向荷载，加载速率控制在每分钟加载预定竖向荷载的25%，待荷载施加至预定竖向荷载的25%、50%、75%和100%时暂停加载，并在暂停期间将竖向锚梁压紧，以消除支座变形引起的锚梁预紧力，此后再继续加载。

正式施加水平荷载前，首先施加预荷载，检查各位移计和加载设备读数是否正常，确认无误后，将水平荷载恢复至初始值，开始正式施加水平荷载。水平荷载的正式施加采用位移控制的加载方案，先以2mm为级差逐级加载，每级循环1次，发现荷载-位移曲线出现明显拐点后，以此拐点处的位移作为试件的屈服位移 Δy ，并以1倍的 Δy 为级差对试件进行逐级加载，每一级进行3次循环，直至试件平荷载降至峰值荷载的85%，停止加载。

四、冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体有限元分析方

在工程领域的研究中，实验是主要使用的方法，它能够清晰直观地反映试件的受力性能以及的破坏情况，是我们的最为主要研究方法之一。但同时实验也存在周期长、制作费用高等弊端，严重影响了相关研究的推进。而通过有限元软件的模拟，可以解决此类弊端，极大的促进了我们对土木工程的相应研究，给我们提供了一个可以去验证可行性、科学性的参考，目前的有限元软件主要有ABAQUS、ANSYS、OPENSEES等有限元软件。

(一) 本构模型

1冷弯薄壁型钢

针对冷弯薄壁型钢的力学行为表征，采用ABAQUS有限元分析平台内建的弹塑性本构模型进行数值模拟。该模型基于经典弹塑性理论构建，能够准确反映试验钢材在弹塑性阶段的力学性能特征，特别是对材料屈服后的力学响应应具有良好表征能力。模型屈服后的应力-应变关系^[3]，其应力与应变的关系如公式(1)所示：

$$\sigma_s = \begin{cases} E_s \varepsilon_s & (0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y) \\ f_y + 0.01 E_s (\varepsilon_s - \varepsilon_y) & (\varepsilon_s \geq \varepsilon_y) \end{cases} \quad (1)$$

2泡沫混凝土

基于经典混凝土弹塑性理论框架，构建了泡沫混凝土材料的本构模型体系。通过引入王博群团队提出的修正本构关系，充分考虑混凝土材料在不同性能以及其塑性发展^[4]。泡沫混凝土的本构方程为：

$$\sigma = \begin{cases} -0.82 \varepsilon^3 + 1.47 \varepsilon^2 + 0.35 \varepsilon & (0 \leq \varepsilon \leq 1) \\ \varepsilon / (2.35 \varepsilon^2 - 2.76 \varepsilon + 1.41) & (\varepsilon \geq 1) \end{cases} \quad (2)$$

五、冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体抗震性能影响因素分析

国内外学者通过对冷弯薄壁型钢-泡沫混

混凝土墙体的抗震性能进行了一系列试验和有限元分析研究结果表明,冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体的抗震性能与轴压比、墙体不同截面尺寸、泡沫混凝土强度等级、剪跨比、C型轻钢腹板开孔率等因素密切相关。

(一) 轴压比

章红梅通过对4片轴压比不同的矩形截面剪力墙试件进行试验^[5];刘殿忠通过对3片不同轴压比的轻钢泡沫混凝土墙体进行有限元分析;王威通过对轻钢泡沫混凝土墙体计算分析;戴素娟通过ABQUS软件对轻钢泡沫混凝土剪力墙其建立有限元模型;李焕坤通过对C型轻钢聚苯颗粒轻混凝土剪力墙进行抗震性能试验;结果表明:构件的损伤情况是随轴压比的增大裂缝逐渐往构件底部集中;等效粘滞阻尼系数也随之逐渐增大;刚度退化情况趋于严重;试件的屈服强度、极限强度和延性的表现情况均为先增强后减小的规律。

(二) 不同截面形式与尺寸

彭志明对三种不同截面形式的冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土组合墙体进行了的拟静力试验,结果表明:翼缘对墙体的增强作用十分显著,徐志峰通过对7片SSRC剪力墙足尺试件的轴心受压试验,试验结果表明,相较于采用C89的边立柱,C140的边立柱使得立柱墙体的轴压承载力提升了60%-70%。

(三) 泡沫混凝土强度

刘殿忠通过试验发现:填充高密度的泡沫混凝土的墙体试件的强度虽然提升了,但总体的延性下降了,同时试件脆性上升,反而使得墙体的破坏程度更大。徐志峰通过试验发现:高强泡沫混凝土不仅能够给墙体提供竖向承载力,还能对C型轻钢立柱起到约束作用,从而增强立柱抗弯曲、畸变屈曲和扭曲变形的能力,提高轻钢立柱屈服强度和墙体的轴压承载力,减小墙体的竖向形变。填充A05和A07级泡沫混凝土的竖向承载力与未填充的墙体相比

分别提高了1.6倍和2.2倍,竖向刚度分别提高2.2倍和3.1倍;李焕坤通过试验发现,随着泡沫混凝土强度的提高,使得墙体受剪承载力增加,滑移量减小。

(四) 剪跨比

李焕坤通过试验发现:随着剪跨比的增大,墙体的受剪承载力降低,滑移量增大,破坏形态由剪切破坏向弯剪破坏过渡;黄强^[12]通过对三片跨剪比不同的轻钢聚苯颗粒混凝土墙体进行试验,结果表明:泡沫混凝土墙体的破坏形态与剪跨比存在显著相关性,剪跨比较小时,结构主要呈现典型的剪切破坏特征,中等剪跨比条件下则表现为弯剪复合破坏,其破坏模式与普通混凝土剪力墙大致相同,当达到较大的剪跨比时,其破坏模式呈现典型的弯曲破坏特征。泡沫混凝土墙体的弯曲破坏随着剪跨比增大显著增强,试件承载力逐渐下降;但试件的耗能系数逐渐增大,且均大于理论值。

(五) 其他影响因素

李焕坤通过试验发现:轻质泡沫混凝土的强度对水平拉条的强度发挥有着明显的影响,但仅增加水平拉条配钢量对增加墙体受剪承载力的有限。李焕坤和徐志峰,通过实验发现,C型轻钢腹板开孔对墙体的受剪承载力影响不大,但延性和耗能能力有所降低;是否覆盖秸秆板对墙体竖向承载力的影响很小仅提高了6.8%。

六、结论与展望

通过对冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体现有研究进行分析得出以下结论。

(1) 冷弯薄壁型钢-泡沫混凝土墙体,相较于传统的冷弯薄壁型钢墙体,在保温隔热,结构受力方面有了具有明显的优势。后续可以针对防火、隔音和抗震进行进一步研究,以进一步提升墙体的综合性能。

(2) 轴压比对构件性能的非线性影响表明,在实际工程中需要精确控制轴压比,以平

衡构件的强度、延性和变形能力。未来的研究可以结合数值模拟和实验数据,建立更精确的轴压比设计阈值,为工程实践提供理论支持。

(3) 泡沫混凝土强度对墙体竖向承载力和刚度的显著影响,为未来墙体材料的设计和选择提供了重要依据。未来可以进一步研究不同强度等级的泡沫混凝土对墙体性能的影响规律,并探索泡沫混凝土与其他增强材料的复

合使用,以进一步提升墙体的整体性能。

(4) 剪跨比对墙体破坏模式和承载力的影响表明,未来需要深入研究剪跨比与墙体变形能力之间的复杂关系。通过实验和数值模拟相结合的方法,可以进一步揭示剪跨比对墙体受力机理的影响规律,并建立更准确的破坏模式预测模型。

参考文献

- [1] 宋国林,王在杭,于咏妍. 泡沫混凝土材料的研究与应用[J]. 公路交通科技(应用技术版),2019,15(05):56-58.
- [2] 李阳,李若一,黄晓慧,等. 不同发泡方式对泡沫混凝土导热系数的影响[J]. 中国建材科技,2022,31(03):70-73.
- [3] 王英涛,蔡健,龙跃凌,等. 带约束拉杆方形钢管混凝土短柱偏压工作机理[J]. 东南大学学报(自然科学版),2015,45(02):370-375.
- [4] 王博群. 泡沫混凝土本构关系研究[D]. 吉林建筑大学,2019.
- [5] 章红梅,曾松. 不同轴压比下剪力墙抗震性能试验研究[J]. 结构工程师,2014,30(05):165-173.