

剪力墙水平接缝键槽混凝土力学性能试验及构造优化研究

王 伟¹, 刘翼志²

(1. 黄河三角洲农业高新技术产业示范区产业推进服务中心, 东营 257091;
2. 河北省建筑工程质量检测中心有限公司, 石家庄 050200)

摘 要: 为提升剪力墙水平接缝受力性能, 针对接缝键槽混凝土承压及抗剪薄弱问题, 通过控制变量试验, 系统探究了不同混凝土强度、界面接缝剂类型及钢筋配置对接缝键槽混凝土力学性能的影响规律。研究设计并制作了 12 组试件, 分别进行抗压与抗剪试验。结果表明: 提高混凝土强度能有效增强极限承载力, 使用 A 类剂时, C60 试件极限抗压与抗剪强度较 C40 分别提升 36.21%、58.39%; 高性能接缝剂显著改善了抗剪延性, 不同混凝土等级下 (C40、C50、C60) 峰值抗剪位移分别提高 38.60%、42.19%、24.26%; 高强钢筋 (HRB500) 与较大直径 (14 mm) 对约束混凝土、抑制裂缝发展作用明显。基于试验结果, 提出了 3 种综合构造优化设计, 优化后试件的极限抗压强度、抗剪强度分别提升 18.49% 和 22.04%, 有效改善了接缝的脆性破坏倾向与整体性能, 研究结果为装配式剪力墙水平接缝键槽的设计提供了重要的试验依据和数据支撑。

关键词: 剪力墙水平接缝; 键槽; 混凝土材料; 力学性能试验; 抗压与抗剪; 构造优化

中图分类号: TU375 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2026) 04-0056-08

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2026.04.009

Experimental Study on the Mechanical Properties of Concrete at Horizontal Joints of Shear Walls and Structural Optimization

WANG Wei¹, LIU Yizhi²

(1. Industrial Promotion Service Center of the Yellow River Delta Agricultural High-tech Industry Demonstration Zone, Dongying 257091, China;
2. Hebei Province Construction Engineering Quality Testing Center Co., Ltd., Shijiazhuang 050200, China)

Abstract: To improve the stress performance of horizontal joints in shear walls, addressing the issues of weak bearing and shear resistance in joint keyway concrete, a systematic study was conducted through controlled variable experiments to explore the effects of different concrete strengths, types of interface joint agents, and reinforcement configurations on the mechanical properties of joint keyway concrete. Twelve groups of specimens were designed and fabricated for compressive and shear tests. The results indicate that increasing concrete strength can effectively enhance ultimate load capacity; for C60 specimens using type A agent, the ultimate compressive and shear strengths increased by 36.21% and 58.39%, respectively, compared with C40

作者简介: 王 伟 (1983—), 女, 本科, 高级工程师, 研究方向: 建筑工程。

通信作者: 刘翼志 (1989—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 工程结构检测与加固。

收稿日期: 2026-01-22

specimens. High-performance joint agents significantly improved shear ductility, with peak shear displacement increasing by 38.60%, 42.19%, and 24.26% across different concrete grades (C40-C60). High-strength reinforcement (HRB500) and larger diameters (14mm) noticeably contributed to constraining the concrete and inhibiting crack development. Based on the experimental results, three comprehensive structural optimization designs were proposed. After optimization, the ultimate compressive and shear strengths of the specimens increased by 18.49% and 22.04%, respectively, effectively improving the brittleness tendency and overall performance of the joints. The research results provide important experimental evidence and data support for the design of keyways in horizontal joints of prefabricated shear walls.

Key words: shear wall horizontal joints; keyways; concrete materials; mechanical property tests; compressive and shear strength; structural optimization

0 引言

装配式混凝土结构中, 预制剪力墙间的水平接缝是影响结构受力性能、抗震安全的关键部位^[1]。其中, 键槽作为常见的水平接缝构造形式, 通过后浇混凝土形成凹凸咬合, 便于传递剪力与压力^[2]。然而, 键槽混凝土在复杂应力状态下, 易出现压碎、剪切滑移及界面剥离等脆性破坏^[3]。因此, 开展剪力墙水平接缝键槽混凝土力学性能研究^[4], 分析不同混凝土强度、界面接缝剂类型及钢筋配置对接缝键槽混凝土力学性能的影响规律, 具有重要的理论意义和工程应用价值^[5]。

目前, 相关学者针对装配式剪力墙结构节点及接缝力学性能开展了大量研究。在力学性能方面, 研究多集中于结构本身的受力机理。吕玺宸等^[6]通过试验, 研究了玄武岩纤维长径比对混凝土抗压、劈拉及抗折强度的影响, 得出劈裂抗拉强度提升显著的结论; 廖明可等^[7]通过室内试验, 研究了防渗墙槽段接缝剪切特性, 发现其破坏模式随法向应力变化; 赵凯选等^[8]基于有限元, 研究了剪力墙连梁节点承载力性能, 发现承载力与轴压比、配筋率正相关, 在1%~2%配筋率下试件延性与稳定性最优; 钟紫蓝等^[9]通过试验, 研究了速格垫加固地下连续墙接缝性能, 得出该加固方法能有效提升接缝承载、防水及变形能力; 陈柯洁等^[10]通过试验, 研究了键齿胶接缝组合梁的负弯矩区受力性能, 发现其承载力略降但延性与转动能力显著提升。在接缝处理方面, 研究多聚焦于接缝参数分析、界面处理及性能改善; 刘刚等^[11]通过优化分析, 研究了装配式桥面沥青铺装的接缝性能, 得出良好界面黏结和材料模量匹配能有效减轻铺装开裂; 李长春等^[12]通过试

验, 研究了盖梁键齿胶接缝的抗剪性能, 得出其承载力受多参数影响; 赵鸿铎等^[13]通过有限元分析与足尺试验, 研究了夹环连接式传力杆接缝的传荷性能, 发现其传荷能力满足工程要求且接缝参数合理; 田志伟等^[14]通过试验, 研究了装配式基层接缝传荷性能, 发现预制板混凝土强度影响最大、双点加载更优; 魏科等^[15]通过轴心受拉试验, 研究了湿接缝界面加强筋的抗裂性能, 得出界面是薄弱部位且墩头加强筋可大幅提高开裂荷载。尽管现有研究取得了丰硕成果, 但多数研究侧重抗剪性能分析, 对键槽混凝土的抗压与抗剪性能关联性研究相对不足, 缺乏界面接缝剂材料、混凝土强度、钢筋配置等多因素耦合作用下的系统试验研究, 缺少多因素对比下的定量化规律及综合构造优化分析。

基于此, 以某装配式剪力墙高层住宅项目为依托, 设计并制作不同变量组合的键槽混凝土试件, 开展抗压与抗剪试验研究。采用控制变量法系统分析单一变量及多变量耦合对键槽混凝土力学性能的影响机理。基于试验结果, 提出综合性构造优化设计并评估其有效性, 以期类似剪力墙水平接缝键槽的设计提供技术参考。

1 工程概况

某高层住宅项目位于8度抗震设防区, 地下2层, 地上32层, 建筑高度96 m, 结构体系为装配整体式剪力墙结构。标准层预制剪力墙厚200 mm, 采用一字形墙板。水平接缝设计位于楼面标高以上300 mm处, 采用单排矩形键槽连接形式。原设计键槽尺寸为: 深60 mm, 宽200 mm, 长400 mm。键槽内后浇混凝土设计强度等级为C40, 与预制墙体混凝土(C50)存在强度差。接缝界面采用普通环氧树脂

材料科学

基界面剂处理。墙体水平分布筋在接缝处断开，采用直径 12 mm 的 HRB400 钢筋作为竖向连接钢筋穿越接缝。

2 试验设计

2.1 试验材料

试验涉及的主要材料及基本性能参数见表 1。

表 1 试验材料基本性能参数
Table 1 Basic properties of test materials

材料类别	规格/型号	主要性能参数/MPa	备注
混凝土	C40	立方体抗压强 40.1, 弹性模量 3.25×10^4	用于部分后浇接缝
	C50	立方体抗压强 50.3, 弹性模量 3.45×10^4	用于预制墙体及部分后浇接缝
	C60	立方体抗压强 60.5, 弹性模量 3.60×10^4	用于高强后浇接缝
界面接缝剂	A 类	普通环氧基 抗压强度 ≥ 65 黏结强度 ≥ 2.5	市场常用产品
	B 类	高性能聚合物改性 抗压强度 ≥ 80 黏结强度 ≥ 4.0	高韧性、高粘结产品
钢筋	HRB400	直径 12 mm 屈服强度 435 抗拉强度 570	用于原设计连接筋
	HRB500	直径 14 mm 屈服强度 540 抗拉强度 670	用于强化连接筋

2.2 试验思路

研究采用控制变量法，通过固定键槽基本几何尺寸，改变混凝土强度等级、界面接缝剂类型及钢筋配置，共设计 12 组不同变量组合的试件。每组试件制作两个，分别用于抗压试验和抗剪试验，见表 2。

表 2 不同试件试验分组
Table 2 Different specimen test groups

试验组号	混凝土强度等级	界面接缝剂类型	钢筋配置	试件数量/个
G1	C40	A 类	HRB400Φ12	2
G2	C40	A 类	HRB400Φ14	2
G3	C40	B 类	HRB500Φ12	2
G4	C40	B 类	HRB500Φ14	2
G5	C50	A 类	HRB400Φ12	2
G6	C50	A 类	HRB400Φ14	2
G7	C50	B 类	HRB500Φ12	2
G8	C50	B 类	HRB500Φ14	2
G9	C60	A 类	HRB400Φ12	2
G10	C60	A 类	HRB400Φ14	2
G11	C60	B 类	HRB500Φ12	2
G12	C60	B 类	HRB500Φ14	2

通过试验，量化分析单一变量对键槽混凝土抗压与抗剪性能的影响规律，并分析多变量的耦合作用。基于分析结果，提出综合构造优化设计，并量化分析其有效性。

2.3 试验设备

试验在大型结构实验室进行。主要设备包括：

电液伺服万能试验机：最大荷载 5 000 kN，精度 1 级，用于施加压力和剪切荷载。配备力传感器和伺服控制系统，可实现荷载与位移控制加载。

数据采集系统：采用动态应变采集仪，通道数 32，采样频率最高 100 Hz，用于同步采集荷载、位移及应变数据。

位移测量装置：包括电子位移计（量程±50 mm，精度 0.01 mm）和激光位移传感器，布置于后浇键槽混凝土侧面边缘、试件中部（键槽区域）、预制体侧面，用于测量竖向压缩位移和界面剪切滑移量。

应变测量装置：在键槽混凝土表面及钢筋上粘贴电阻应变片，监测应变发展。

裂缝观测仪器：数字裂缝观测仪（放大倍数 20~200 倍）与高清工业摄像机，用于观测和记录裂缝的出现、宽度及扩展路径。

辅助设备：包括试件定位支架、反力架、加载头（定制仿形压头与剪切盒）等。

2.4 试验步骤

试件制备与养护：按照设计配合比浇筑混凝土，预制部分标准养护 28 d。键槽界面处理（凿毛、清洁）后涂刷界面接缝剂，随即浇筑后浇混凝土并埋设钢筋，整体养护至规定龄期。

试件安装与对中：将试件精确安装于试验机台座上，确保加载轴线与试件几何中心对齐。安装位移计和应变片，连接数据采集系统。

预加载：进行 2~3 次预加载（至预估极限荷载的 10%~20%），检查仪器工作状态，消除接触间隙。

抗压试验：采用荷载控制分级加载，持荷 1 min，接近预估极限荷载时改为连续缓慢加载直至试件破坏。记录各级荷载、位移、应变及裂缝发展。

抗剪试验：采用剪切装置，施加竖向荷载使剪切面保持恒定正压力，水平方向采用位移控制加载，速率 0.3 mm/min，直至试件发生剪切破坏。记录水平剪力-位移相关数据。

数据采集与记录: 全程自动采集荷载、位移、应变数据。观察并记录裂缝出现时荷载、裂缝宽度、发展路径及最终破坏形态。

2.5 试验检测

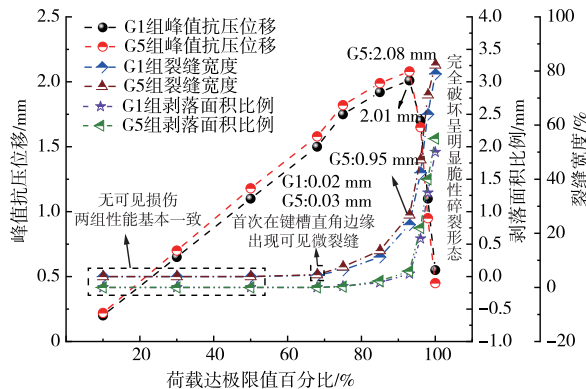
抗压性能检测包含: 极限抗压强度 ($f_{cc,u}$)、峰值抗压位移 ($\Delta_{c,p}$)、抗压延性系数 ($\mu_c = \Delta_{c,p}/\Delta_{c,y}$, $\Delta_{c,y}$ 为屈服位移, 按能量等值法确定)、裂缝宽度。

抗剪性能检测包含: 剪切滑移、剪力、极限抗剪强度 (τ_u)、峰值抗剪位移 ($\Delta_{s,p}$)、剪切面平均黏结强度 (τ_b)、抗剪延性系数 ($\mu_s = \Delta_{s,p}/\Delta_{s,y}$)。

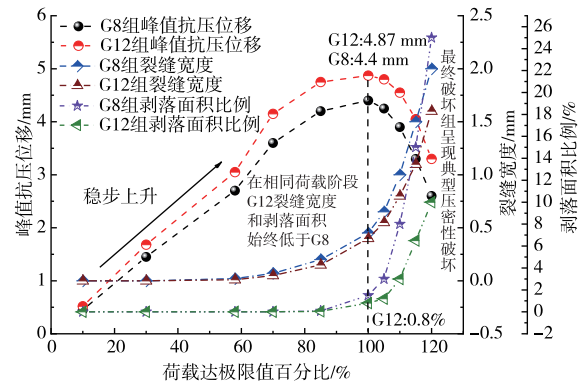
3 抗压性能试验结果分析

3.1 抗压破坏形态分析

由图 1 可知, 试验中, 脆性破坏主要出现 G1、G5 组, 当荷载达到极限值 68% 时, 键槽直角边缘出现细微裂缝, 裂缝宽度分别为 0.02、0.03 mm。在 93% 极限荷载处, G5 裂缝宽度从 0.03 mm 增至 0.95 mm, 剥落面积从 0.3% 升至 6%, 峰值位移达 2.08 mm, 破坏高度集中于键槽角部, 呈现瞬时能量释放的碎裂形态。而延性破坏主要出现在更高强度混凝土、高性能接缝剂及高强度钢筋试件中 (以 G8、G12 试验组进行分析)。延性破坏试件开裂更早 (约 58% 极限荷载时), 达到极限荷载时, 裂缝宽度与剥落面积均呈现缓慢增长趋势, G12 裂缝宽度仅增至 0.40 mm, 剥落面积增至 0.8%, 峰值位移达 4.87 mm。此外, 在相同荷载阶段, G12 组裂缝宽度和剥落面积始终低于 G8 组, 表明优化材料组合能有效促进应力均匀分布, 将破坏形态从局部脆性转化为整体压密, 显著提升了试件变形能力。



(a) 脆性破坏变化曲线



(b) 延性破坏变化曲线

图 1 不同试件抗压破坏形态变化曲线

Fig. 1 Curves of the variation in compressive failure modes of different specimens

3.2 混凝土强度等级对抗压性能的影响分析

由图 2 可知, 极限抗压强度 ($f_{cc,u}$) 随混凝土强度提升而增长, C50、C60 试件较 C40 (42.75 MPa), 在使用 A 类接缝剂时 $f_{cc,u}$ 分别提升 18.71% 和 36.21%, 使用 B 类剂时分别提升 19.65% 和 35.32%。峰值抗压位移 ($\Delta_{c,p}$) 变化增幅有限, 仅提高混凝土强度时, A 类接缝剂试件 G1→G5→G9, $\Delta_{c,p}$ 增长率为 12.39%、15.60%, 低于 $f_{cc,u}$ 增长率。而高性能 B 类接缝剂能显著改善变形性能, 在相同混凝土强度等级下, B 类剂试件 $\Delta_{c,p}$ 高于 A 类剂试件, 其中 G11 试件的 $\Delta_{c,p}$ 达 3.05 mm, 较同强度 G9 试件的 2.52 mm 提升 21.03%, 表明提高混凝土强度可有效提升承载力, 但须配合高性能界面处理技术, 才能有效激发高强混凝土的变形潜能, 实现强度与延性的协同优化。

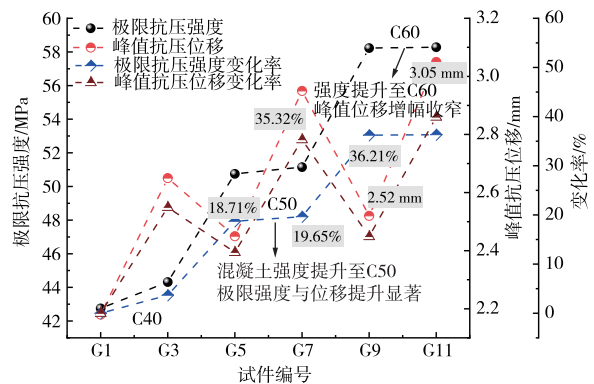


图 2 不同混凝土强度等级下试件抗压性能变化曲线

Fig. 2 Variation curves of compressive performance of specimens at different concrete strength levels

材料科学

3.3 界面接缝剂类型对抗压性能的影响分析

由图 3 可知，B 类接缝剂对键槽抗压性能的改善主要体现在提升变形能力与延性，而非大幅提高极限强度。对比同强度试件，B 类剂的 $f_{cc,u}$ 增幅有限，C40、C50、C60 试件较同强度 A 类剂试件分别仅提升 5.71%、5.22%和 2.66%。对于使用 B 类剂的 C40 混凝土，其峰值抗压位移和延性系数较 A 类剂提升 23.77%和 34.72%；对于 C50 混凝土，分别提升 43.67%、58.26%；对于脆性的 C60 混凝土，提升幅度高达 48.81%、68.21%。数据变化表明，B 类剂通过其高韧性 with 强黏结力有效改善了应力缓冲与变形协调，促使裂缝在多处稳定发展，荷载-位移变化呈现饱满的下降段。

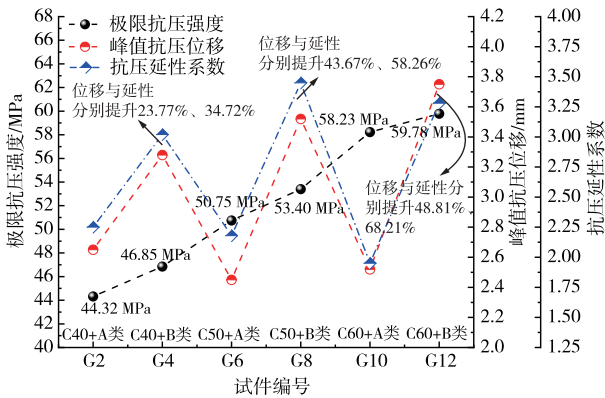


图 3 不同界面接缝剂下试件抗压性能变化曲线
Fig. 3 Variation curves of compressive strength of specimens with different interface sealants

3.4 钢筋配置对抗压性能的影响分析

由图 4 可知，提升钢筋配置使 C40、C50、C60 试件 $f_{cc,u}$ 分别提升了 9.59%、9.02%和 7.28%。由于高强粗钢筋提供了更强大的环箍约束效应，有效抑制了核心混凝土的横向变形，提升了其纵向承压能力，C40、C50、C60 试件 $f_{cc,u}$ 的绝对增长值保持相对稳定，分别为 4.10、4.58、4.24 MPa。此外，钢筋配置提升使不同强度试件 $\Delta_{c,p}$ 显著增加，增幅分别为 21.56%、28.57%、19.84%。特别是 C50 试件，位移提升率最高，表明此时材料强度与钢筋约束达到较优匹配。对于脆性 C60 试件，仍有 19.84%的位移提升，验证了高强钢筋在延缓裂缝扩展、维持峰值后承载力的关键作用。

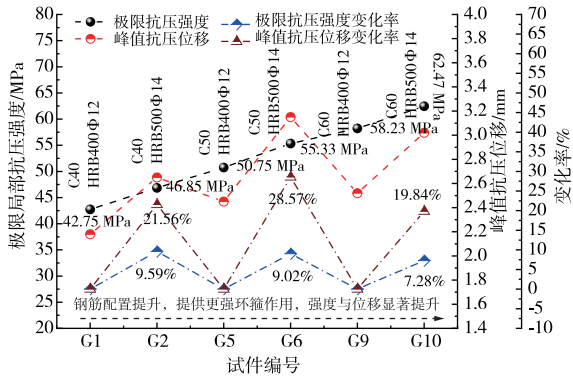
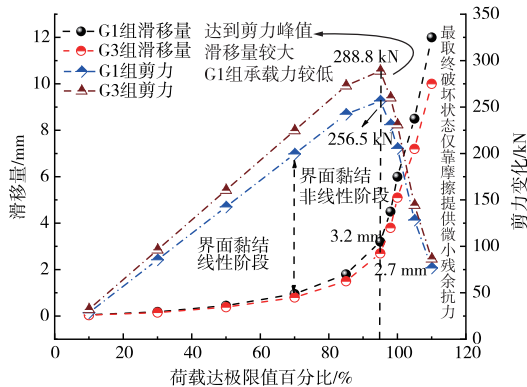


图 4 不同钢筋配置下试件抗压性能变化曲线
Fig. 4 Variation curves of compressive performance of specimens under different reinforcement configurations

4 抗剪性能试验结果分析

4.1 抗剪破坏形态分析

由图 5 可知，试验中，剪切滑移破坏主要出现在 G1、G3 组。G1 组滑移量达 95% 极限荷载时增长至 3.20 mm，峰值后剪力从 256.5 kN 降至 231.0 kN，降幅达 9.94%，滑移量从 3.20 mm 增至 6.00 mm，增幅 87.5%，表明 A 类接缝剂界面黏结强度低，一旦达到峰值，黏结力迅速丧失，导致键槽被整体推出。而黏结-剪切复合破坏（G2、G5 组）呈现材料强度参与的延性破坏过程。其裂缝在 75% 极限荷载时出现，直至 100% 极限荷载，G5 组裂缝宽达 0.38 mm，剥落面积比例达 4.8%。峰值后，承载力下降平缓，位移持续增长至 8.00 mm，裂缝宽度与剥落面积扩大但发展相对可控，表明 B 类高性能接缝剂提供了更强的界面黏结，将剪力有效传递给后浇混凝土，使破坏发生在混凝土内部，形成了粗糙的剪压破坏面，从而提高了极限承载力与延性性能。



(a) 剪切滑移破坏变化曲线

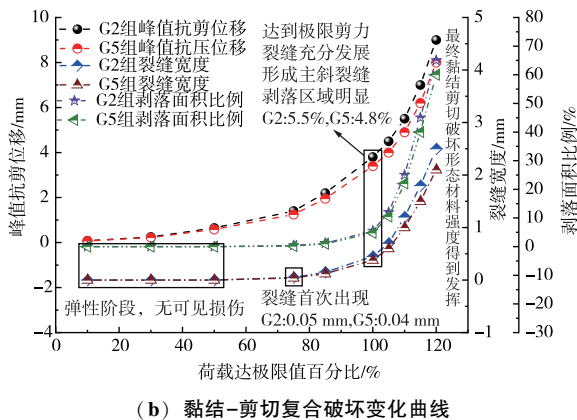


图 5 不同试件抗剪破坏形态变化曲线

Fig. 5 Curves of the evolution of shear failure modes for different specimens

4.2 混凝土强度等级对抗剪性能的影响分析

由图 6 可知, 相同接缝剂与钢筋配置的试件, 其极限抗剪强度 (τ_u) 随混凝土强度提高显著增长。A 类剂 (C40、C50、C60), τ_u 从 5.72 MPa 增至 9.06 MPa, 增幅达 58.39%; B 类剂, τ_u 从 6.85 MPa 增长至 10.48 MPa, 增幅为 52.99%, 验证了高强混凝土的高内聚力和骨料间咬合力。峰值抗剪位移 (δ_u) 则增长有限, A 类剂 (C40、C50、C60) δ_u 仅从 2.85 mm 增至 3.38 mm (增幅 18.60%), B 类剂从 3.10 mm 增长至 3.92 mm (增幅 26.45%), δ_u 增幅均低于对应 τ_u 增幅, 反映了高强混凝土脆性对变形能力的制约。剪切面平均黏结强度 (τ_b) 变化进一步表明界面作用: B 类剂试件 τ_b 在不同强度等级下均高于 A 类剂试件, 且随混凝土强度提升的增长率更高, 表明高性能接缝剂能更有效地将高强混凝土的材料潜能转化为界面抗剪能力。

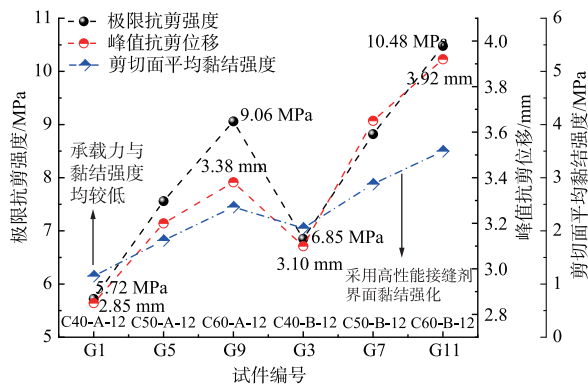


图 6 不同混凝土强度等级下试件抗剪性能变化曲线

Fig. 6 Variation curves of shear performance of specimens under different concrete strength grades

4.3 界面接缝剂类型对抗剪性能的影响分析

由图 7 可知, 在 C40 强度下, B 类剂对极限抗剪强度 (τ_u) 和峰值抗剪位移 (δ_u) 的提升显著, 分别达 27.62% 和 38.60%, 基本消除了界面滑移破坏。在 C50 强度下, τ_u 提升率降至 18.39%, 但 δ_u 和延性系数 μ_s 分别提升了 42.19%、51.79%, 表明此时材料与界面达到最佳协同状态, 破坏模式转变为更充分的混凝土剪切破坏。在 C60 强度下, 由于混凝土自身脆性增加, B 类剂对 τ_u 和 δ_u 的提升值分别达 1.42 MPa、0.82 mm, 提升率为 15.67% 和 24.26%。其 μ_s 从 2.4 增至 3.85, 提升了 60.42%, 反映出其在抑制高强混凝土脆性破坏、保障结构预警能力方面的显著作用。

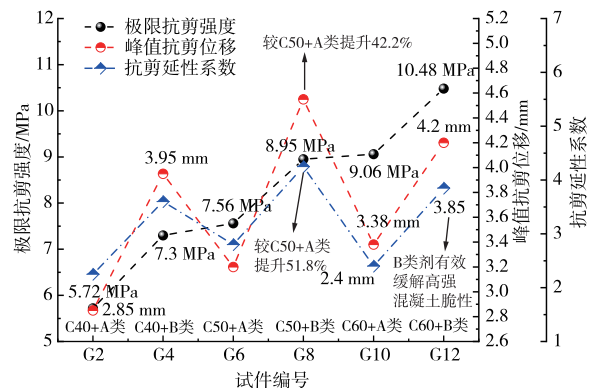


图 7 不同界面接缝剂下试件抗剪性能变化曲线

Fig. 7 Variation curves of shear performance of specimens under different interface sealants

4.4 钢筋配置对抗剪性能的影响分析

由图 8 可知, 试件 τ_u 在 C40、C50、C60 下的变化率分别为 19.76%、22.35% 和 14.57%, 在 C50 时达到峰值, 表明中等强度混凝土与高强粗钢筋的组合能最大化发挥钢筋的销栓作用和约束效应, 有效提升承载力。试件 δ_u 在 C40、C50、C60 强度下的变化率分别为 20.00%、25.00%、15.38%, 表明优化配筋通过限制斜裂缝宽度、促进骨料咬合, 提升了强度, 也显著改善了接缝的变形与延性。对于脆性的 C60 混凝土, 提升率有所降低, 但 τ_u 和 δ_u 的增长值达 1.32 MPa、0.52 mm, 验证了在高强混凝土中, 采用高强粗钢筋对提升抗剪性能、抑制脆性破坏效果显著。

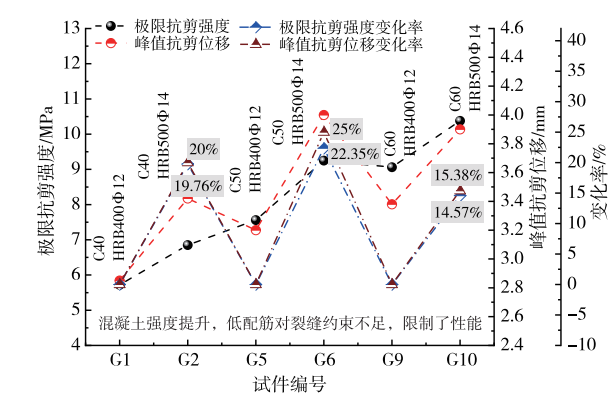


图 8 不同钢筋配置下试件抗剪性能变化曲线
Fig. 8 Variation curves of shear performance of specimens under different rebar arrangements

5 构造优化及效果分析

5.1 构造优化设计

5.1.1 键槽截面优化

采用“梯形+圆弧过渡”组合截面，将键槽的直角改为上宽下窄的梯形截面（上宽 220 mm，下宽 180 mm，深 60 mm 不变），并在所有内角设置半径 20 mm 的圆弧过渡。梯形截面利于荷载传递，减少底部应力集中；圆弧角能有效将集中应力平滑分散，延缓裂缝产生。经初步验算，半径 20 mm 的圆弧可在保证有效咬合深度的同时提供足够平滑过渡。

5.1.2 界面增强构造

增设界面剪力钉与高性能接缝剂。在预制体键槽底面及侧面，预埋直径 10 mm、高 25 mm 的半球头剪力钉，间距 150 mm 梅花形布置。界面处理采用 B 类高性能聚合物改性接缝剂。剪力钉能提供机械嵌固作用，与接缝剂的化学黏结形成“胶结-嵌锁”复合传力机制，有效提升界面的抗剪刚度和抗剥离能力，避免界面滑移破坏。

5.1.3 局部配筋强化

设置环形约束筋与纵向加强筋。在后浇键槽混凝土内，除原竖向连接筋（优化为 HRB500-14）外，增设闭合环形 HPB300 级钢筋（直径 8 mm，间距 50 mm），缠绕于竖向筋外侧，形成紧密箍筋网。同时，在键槽中部增加 2 根 HRB500 级纵向水平筋（直径 12 mm）。环形箍筋能对核心混凝土形成主动约束，提高其抗压强度和变形能力；纵向筋可增强对剪切斜裂缝的抑制作用，并与箍筋、竖筋共同构成空间钢筋骨架，提升键槽整体性。

5.2 优化效果分析

为系统评估优化设计对剪力墙键槽抗压与抗剪性能的提升效果，对优化前后的试件在相同加载制度下的关键响应参数进行对比测试与分析，结果见表 3。

表 3 构造优化前后关键力学性能参数对比
Table 3 Comparison of key mechanical performance parameters before and after construction optimization

参数指标	极限抗压强度 /MPa	抗压峰值位移 /mm	抗压延性 系数	极限抗剪强度 /MPa	抗剪峰值位移 /mm	抗剪延性 系数	剪切面平均黏结 强度/MPa
优化前均值	52.34	3.42	2.65	8.71	4.15	2.75	2.5
优化后均值	62.02	4.25	3.60	10.63	5.38	3.65	4.3
性能提升幅度/%	+18.49%	+24.27%	+35.85%	+22.04%	+29.64%	+32.73%	+72.00%

通过对比分析可知，综合构造优化措施显著提升了键槽接缝的各项性能。极限抗压与抗剪强度分别提升 18.49% 和 22.04%，承载力显著增强。变形与延性改善更突出，抗压与抗剪延性系数分别提升 35.85% 和 32.73%，峰值位移提升 24.27% 和 29.64%，有效将破坏模式转为延性破坏。此外，剪切面平均黏结强度提升超过 70%，证明优化方案有效缓解了应力集中，全面提升了接缝的整体性能。

6 结论

以某高层装配式剪力墙住宅项目为依托，通过控制变量试验，研究了混凝土强度、界面接缝剂类型和钢筋配置对键槽混凝土抗压与抗剪性能的影响规律，并基于试验结果提出了三种综合构造优化设计，得出以下主要结论：

（1）提高混凝土强度可显著提升键槽接缝的承载能力，但对延性改善有限。试验表明，使用 A 类

剂时 C60 试件较 C40 试件的极限抗压与抗剪强度分别提升 36.21%、58.39%，但峰值位移增长相对较低，表明单纯提高混凝土强度易加剧脆性，需配合其他措施以提升变形性能。

(2) 高性能界面接缝剂能有效改善接缝的延性与抗剪性能。在不同混凝土等级下（C40、C50、C60），B 类接缝剂使峰值抗剪位移分别提高 38.60%、42.19%、24.26%，在 C60 混凝土中延性系数提升 60.42%，表明其通过增强界面黏结与应力重分布，显著抑制了脆性破坏倾向。

(3) 高强、大直径钢筋配置对约束混凝土和抑制裂缝发展具有显著作用。HRB500 钢筋与直径 14 mm 的配置使抗压与抗剪强度分别提升 9.02% 和 20% 以上，尤其在中强度混凝土中表现最优，验证了钢筋约束对提升接缝整体性的关键作用。

(4) 构造优化设计可系统提升接缝力学性能与延性。通过键槽截面优化、界面增强与局部配筋强化，优化后试件的极限抗压与抗剪强度分别提升 18.49% 和 22.04%，延性系数提高 32% 以上，界面黏结强度提升 72%，显著改善了接缝的整体性能与损伤容限。

参 考 文 献

- [1] 刘启超, 付素娟, 姜一天, 等. 装配式剪力墙新型节点抗震性能试验研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2025, 39 (3): 156-163.
- [2] 秦朝刚, 王张龙, 张一程, 等. 低周往复荷载下混凝土-灌浆料-混凝土连接节点抗剪性能 [J]. 复合材料学报, 2025, 42 (5): 2717-2730.
- [3] 王鹏刚, 赵明海, 田砾, 等. 预制键槽式 UHPC 与后浇混凝土界面黏结抗剪性能 [J]. 复合材料学报, 2024, 41 (5): 2633-2644.
- [4] 罗小勇, 邢民亮, 肖扬, 等. 装配式混凝土墙板新型键槽接缝受剪性能研究 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2024, 55 (4): 1388-1405.
- [5] 卢惟铭, 王志滨. 型钢混凝土剪力墙损伤演化与抗震性能优化研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2026, 40 (2): 148-156, 163.
- [6] 吕玺宸, 薛庚博, 钟旭彤. 玄武岩纤维长径比对混凝土力学性能的影响 [J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2021, 20 (1): 67-72.
- [7] 廖明可, 王刚, 金伟, 等. 防渗墙槽段接缝界面剪切力学特性研究 [J]. 水利学报, 2025, 56 (12): 1594-1607, 1619.
- [8] 赵凯选, 李慧. 高层建筑施工剪力墙结构连梁节点受力数值模拟 [J]. 粉煤灰综合利用, 2024, 38 (2): 111-116.
- [9] 钟紫蓝, 郭栋, 张卜, 等. 衬垫法加固地下连续墙接缝防水与力学性能试验 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2025, 57 (9): 130-139.
- [10] 陈柯洁, 范亮, 陈奉民, 等. 键齿胶接缝桥面板组合梁负弯矩力学性能研究 [J]. 北京交通大学学报, 2024, 48 (6): 68-80.
- [11] 刘刚, 钱振东, 陈磊磊, 等. 装配式桥面沥青混凝土铺装结构体系及其接缝构造优化 [J]. 中国公路学报, 2025, 38 (9): 124-133.
- [12] 李长春, 秦志清, 陈金盛, 等. 混凝土盖梁胶接缝抗剪承载力试验及参数分析 [J]. 天津大学学报 (自然科学与工程技术版), 2025, 58 (4): 368-378.
- [13] 赵鸿铎, 涂巧毓, 马鲁宽, 等. 装配式水泥路面夹环连接式传力杆接缝设计及验证 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2024, 52 (3): 398-406.
- [14] 田志伟, 贾立夫, 于兵杰, 等. 装配式道路基层结构接缝传荷性能及影响参数分析 [J]. 森林工程, 2023, 39 (2): 165-175.
- [15] 魏科, 冯霄暘, 刘黎, 等. 钢混组合梁高性能桥面板湿接缝界面强化方式 [J]. 铁道建筑, 2024, 64 (12): 39-43.