

SPCS 空腔柱在装配式建筑中的结构性能优化与工程应用研究

程高, 曾治国

湖南省第二工程有限公司, 湖南 长沙 410015

摘 要 : 本研究围绕 SPCS 空腔柱在装配式建筑中的应用展开, 重点探讨其结构性能优化策略与实际工程应用效果。通过优化设计、改进材料性能和创新施工工艺, 显著提升 SPCS 空腔柱的力学、抗震和防火性能, 为其在装配式建筑中的广泛应用提供理论与实践支撑, 推动装配式建筑行业发展。

关 键 词 : SPCS 空腔柱; 装配式建筑; 结构性能优化

Research on Structural Performance Optimization and Engineering Application of SPCS Cavity Column in Prefabricated Buildings

Cheng Gao, Zeng Zhiguo

Hunan Construction Engineering Group No.2 Co., Ltd. Changsha, Hunan 410015

Abstract : This study focuses on the application of SPCS cavity column in prefabricated buildings, and focuses on its structural performance optimization strategy and practical engineering application effect. By optimizing design, improving material performance and innovating construction technology, the mechanical, seismic and fire performance of SPCS cavity column are significantly improved, providing theoretical and practical support for its extensive application in prefabricated buildings, and promoting the development of prefabricated building industry.

Keywords : SPCS cavity column; prefabricated building; optimization of structural performance

引言

装配式建筑凭借施工效率高、质量可控、环保节能等优势, 近年来在建筑行业迅速崛起。SPCS 空腔柱作为装配式建筑结构体系的核心构件, 其性能对建筑结构的安全与稳定至关重要。SPCS 空腔柱是一种内部空心的预制混凝土柱, 通过合理配筋和构造设计, 能减轻结构自重、提高空间利用率。然而, 在实际应用中, 其力学、抗震和防火性能仍需优化, 以满足不断增长的建筑需求。因此, 开展相关研究意义重大。

一、SPCS 空腔柱结构性能分析

(一) 力学性能

1. 抗压性能

SPCS 空腔柱的抗压性能是承受竖向荷载的关键。竖向荷载包括建筑物自重和使用中的活荷载。其抗压强度与混凝土强度等级、配筋率、截面尺寸和空腔率密切相关^[1]。提高混凝土强度等级和配筋率可提升抗压性能, 但过高配筋率会降低柱的延性。合理控制空腔率既能减轻自重, 又能保证抗压承载能力。如混凝土强度等级从 C30 提升到 C40, 抗压强度可提高约 20%–30%; 配筋率从 1.0% 增加到 1.5%, 抗压强度也会相应提高。

2. 抗弯性能

在水平荷载作用下, 良好的抗弯性能是保证 SPCS 空腔柱结构稳定的关键。其抗弯性能取决于纵筋配置、箍筋间距和截面形状等因素。纵筋承受拉力, 箍筋约束混凝土、提高抗剪和抗弯能力^[2]。增加纵筋数量、减小箍筋间距, 可显著提高抗弯刚度和极限抗弯承载力。合理设计截面形状, 如采用异形截面, 能优化抗弯性能^[3]。研究显示, 相同配筋条件下, 异形截面的 SPCS 空腔柱抗弯承载力比矩形截面柱高 15%–25%。

(二) 抗震性能

1. 延性

延性是衡量结构在地震作用下变形能力的重要指标。SPCS 空

腔柱的延性受配筋率、混凝土强度等级和箍筋约束效应等因素影响。降低配筋率、采用延性好的钢筋、加密箍筋,可提高柱的延性。延性好的柱在地震时能通过自身变形消耗能量,避免脆性破坏。例如,在柱端设置加密箍筋,可使延性系数提高20%–30%,增强结构抗震性能^[4]。

2. 耗能能力

耗能能力反映结构在地震中吸收和耗散能量的能力。SPCS 空腔柱可通过混凝土开裂、钢筋屈服和节点摩擦等方式耗能。设计时合理配置耗能装置,如在柱梁节点设置阻尼器或采用耗能型连接件,能进一步提高耗能能力。设置阻尼器后,耗能能力可提高30%–50%,减轻地震对结构的破坏。

(三) 防火性能

1. 混凝土保护层厚度

混凝土保护层厚度对 SPCS 空腔柱防火性能至关重要。足够的保护层厚度能延缓火灾时高温对钢筋的影响,保证钢筋在一定时间内维持力学性能。不同防火等级对保护层厚度有相应要求,如一级防火等级下,保护层厚度一般不小于30mm。保护层厚度不足时,火灾中钢筋过早失强,柱承载能力迅速下降,危及结构安全^[5]。

2. 防火材料的应用

在 SPCS 空腔柱内部或表面涂抹防火材料,如防火涂料、防火板等,是提高防火性能的有效手段。防火涂料在高温下膨胀形成隔热层,阻止热量向柱内传递;防火板直接覆盖柱表面起保护作用。涂抹防火涂料后,柱的耐火极限可提高1–2小时,增强结构在火灾中的安全性^[6]。

二、SPCS 空腔柱结构性能优化策略

(一) 优化设计

1. 合理的配筋设计

依据结构受力特点和设计要求,利用先进结构分析软件(如 ANSYS、ABAQUS)精确计算纵筋和箍筋用量及布置方式。模拟不同荷载工况下 SPCS 空腔柱的受力情况,确定最优配筋方案。对承受较大竖向荷载的柱,适当增加纵筋配筋率;对抗震要求高的区域,加密柱端箍筋,提高柱的延性和耗能能力。优化配筋设计可使柱承载能力提高10%–20%,满足不同工程需求。

2. 优化截面形式

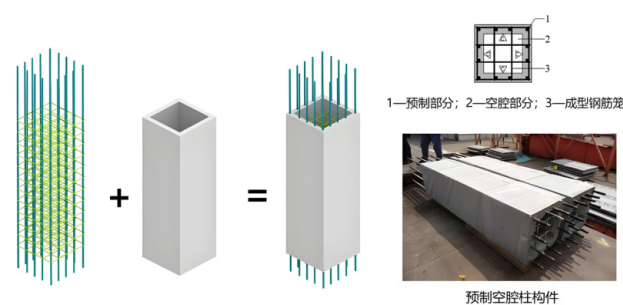
根据建筑功能和结构受力要求选择合适的 SPCS 空腔柱截面形式。除常见的矩形、圆形截面外,还可采用异形截面(如十字形、T形等)。异形截面能更好地适应建筑空间布局,相同截面积下,其惯性矩更大,抗弯性能更优。在大跨度建筑中,采用十字形截面的 SPCS 空腔柱,可提高空间利用率和承载能力,减少柱的数量,降低建筑成本^[7]。

(二) 材料性能改进

1. 高性能混凝土的应用

高性能混凝土具有高强度、高流动性、高抗渗性等特点,能弥补普通混凝土的不足。在 SPCS 空腔柱中使用高性能混凝土,

可使抗压强度提高30%–50%,同时增强抗渗、抗冻融等性能,延长结构使用寿命。在恶劣环境下的建筑工程中,使用高性能混凝土的 SPCS 空腔柱能更好地抵御外界侵蚀,保证结构长期稳定。



> 图1 预制空腔柱构件示意图

2. 新型钢材的选用

选用高强度、高延性的新型钢材作为纵筋和箍筋,可提高 SPCS 空腔柱的力学性能和抗震性能。新型钢材屈服强度和抗拉强度高,且具有良好的延性和可焊性。采用高强钢筋作纵筋,可不增加配筋率提高柱承载能力;使用高延性箍筋,能有效约束混凝土,提高柱的延性和耗能能力^[8]。使用新型钢材后,柱的抗震性能可提高20%–30%。

(三) 施工工艺创新

1. 预制与现浇结合的施工方法

预制与现浇结合的施工方法,兼具预制构件工业化生产优势和节点整体性、可靠性。SPCS 空腔柱施工时,柱身预制,现场吊装就位,再通过现浇混凝土将柱与梁、板等构件连成整体。这种方法减少现场湿作业,提高施工效率,保证节点混凝土密实性和钢筋锚固性能,增强结构整体性和抗震性能^[9]。实践证明,该方法可使 SPCS 空腔柱与其他构件连接强度提高15%–25%。

2. 精准的安装定位技术

研发和应用精准的安装定位技术,确保 SPCS 空腔柱吊装时位置准确、垂直度符合要求。利用全站仪、激光测距仪等先进测量设备实时监测和调整柱的位置和垂直度,优化吊装工艺,采用合理吊具和吊装顺序,保证安装精度。精准安装定位技术可将安装误差控制在3mm 以内,提高结构整体性能^[10]。

三、SPCS 空腔柱在装配式建筑中的工程应用案例分析

(一) 工程概况

某装配式住宅小区,总建筑面积15万平方米,由10栋50–60米高层住宅组成。该项目采用 SPCS 空腔柱作为竖向承重构件,旨在提高施工效率、降低成本,并满足7度抗震设防要求。

(二) SPCS 空腔柱的应用设计

1. 结构设计

根据结构受力分析,SPCS 空腔柱采用矩形截面,尺寸为600mm×600mm,空腔率30%。纵筋采用 HRB400E 级钢筋,配筋率1.2%;箍筋采用 HPB300级钢筋,柱端箍筋加密区间距100mm,非加密区间距200mm。混凝土强度等级为 C35,通过优

化配筋和截面设计,确保满足竖向和水平荷载承载要求,具备良好的抗震性能。

2. 防火设计

为满足一级防火等级要求,SPCS 空腔柱混凝土保护层厚度设计为 30mm,并在柱表面涂抹厚型防火涂料,耐火极限为 3 小时,确保火灾时柱能在规定时间内维持承载能力,为人员疏散和消防救援争取时间。

(三) 施工过程

1. 预制构件生产

SPCS 空腔柱在预制构件厂生产,采用先进工业化设备和工艺,严格控制原材料质量,对钢筋除锈、调直,精确设计和控制混凝土配合比。柱内预埋连接套筒、吊环等部件,方便现场吊装和连接。

2. 现场安装

施工现场用大型塔吊吊装 SPCS 空腔柱。吊装前精确放线定位,设置临时支撑。吊装过程中用全站仪实时监测垂直度和位置偏差,调整吊具和临时支撑保证安装精度。柱安装就位后及时临时固定,通过现浇混凝土将柱与基础、梁等构件连成整体,浇筑时振捣密实,保证混凝土强度。



> 图2 预制空腔柱施工流程

(四) 应用效果评估

1. 施工效率

与传统现浇混凝土柱施工相比,采用 SPCS 空腔柱的装配式施工方法,施工效率提高约 30%。预制构件在工厂生产,现场主要进行吊装和连接作业,减少湿作业和施工时间,有效缩短项目

工期。

2. 结构性能

通过现场检测和结构监测,SPCS 空腔柱各项结构性能指标均满足设计要求。竖向荷载作用下,柱的沉降量和变形在允许范围内;模拟地震作用下,结构位移和加速度响应符合抗震设计标准,表明其力学性能和抗震性能良好,能保证建筑结构安全稳定。

3. 经济效益

核算显示,采用 SPCS 空腔柱的装配式建筑与传统建筑相比,材料成本和人工成本有所降低。虽预制构件生产成本略高于现浇构件,但施工效率提高减少了现场人工和设备租赁费用,综合成本降低约 10%~15%。此外,SPCS 空腔柱减轻结构自重,降低基础工程成本,进一步提高经济效益。

四、结论与展望

(一) 研究结论

SPCS 空腔柱结构性能受多种因素影响,合理设计和优化这些因素可有效提升其力学、抗震和防火性能。优化设计、改进材料性能和创新施工工艺是提高 SPCS 空腔柱结构性能的有效策略,能满足不同建筑工程需求。实际工程案例验证了 SPCS 空腔柱在装配式建筑中的可行性和优势,为装配式建筑发展提供有力技术支持。

(二) 展望

未来可深入研究 SPCS 空腔柱在复杂受力状态下的力学性能和破坏机理,为结构设计提供更精确理论依据。研发高性能、环保建筑材料,进一步提升 SPCS 空腔柱性能和可持续性。结合智能化技术(如 BIM、智能监测系统)实现智能化设计、生产和施工,提高工程质量和效率。加强在不同建筑类型和环境条件下的应用研究,拓展应用范围,推动装配式建筑行业全面发展。

相信随着技术进步和研究深入,SPCS 空腔柱在装配式建筑中的应用将更加广泛和成熟,为建筑行业可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 周进. 预制钢筋混凝土空腔柱施工技术[J]. 建筑机械化, 2024, 45(09): 129-131+135.
- [2] 王勇; 梁栋; 程庚; 胡岩松; 骆国辉. 装配式预制空腔柱 T63 钢筋连接技术研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(17): 112-114.
- [3] 赵成文. 装配式混凝土建筑施工技术要点与现场质量控制研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(06): 60-62.
- [4] 潘菁. 浅谈装配式混凝土框架结构设计要点[J]. 工程设计与设计, 2024(11): 30-32.
- [5] 徐俊杰. 预制空腔模壳免支模免振捣构造柱-圈梁一体化技术研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(05): 62-64.
- [6] 张海潮. 二次结构预制空腔模壳砌块免支模施工技术[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(04): 45-47.
- [7] 蒋胜; 高军; 郝宁; 周伟; 董远超. 装配式预制柱定位、吊装及注浆工艺研究[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(S1): 88-90.
- [8] 滕鸣翰; 刘亮. 桥梁 UHPC 连接预制立柱空腔承压安装施工对策[J]. 建筑施工, 2023, 45(07): 1356-1359.
- [9] 邵志兵; 王欣平; 叶文启. 装配整体式混凝土空腔结构节点连接质量管控[J]. 建筑施工, 2021, 43(11): 2300-2302.
- [10] 李胜强; 杨博; 金煥; 杨云英. 装配式混凝土结构体系研究及探讨[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(19): 3-6.