

剪力墙模壳对 MiC 高层建筑结构刚度的影响研究*

屈健,王琼,饶威

(中建海龙智能建造设计咨询(深圳)有限公司,广东 深圳 518000)

[摘要] 依托深圳市龙华樟坑径项目1号塔楼,系统介绍混凝土模块化技术与模壳剪力墙体系,并研究模壳对结构刚度的影响。分析对比模型1(剪力墙厚度取200mm厚现浇层+模壳)、模型2(剪力墙厚度取200mm厚现浇层)自振周期、层间位移角及基底剪力。结果表明,模壳对结构刚度的提升幅度在10%以内,设计中采用周期折减系数0.8合理可行。

[关键词] 高层建筑;装配式;模块化;剪力墙;模壳;刚度

[中图分类号] TU375

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)20-0090-05

Influence Research of Shear Wall Formwork Shell on the Structural Stiffness for MiC Tall Building

QU Jian, WANG Qiong, RAO Wei

(China State Construction Hailong Intelligent Construction Design Consulting(Shenzhen) Co., Ltd.,
Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract: Based on the No. 1 tower of Longhua Zhangkengjing project in Shenzhen, the concrete modularization technology and the formwork shell shear wall system are systematically introduced, and the influence of the formwork shell on the structural stiffness is studied. The natural vibration period, inter-story displacement angle and base shear force of model 1 (the thickness of shear wall is 200mm thick cast-in-place layer + formwork shell) and model 2 (the thickness of shear wall is 200mm thick cast-in-place layer) are analyzed and compared. The results show that the increase of structural stiffness by formwork shell is within 10%, and it is reasonable and feasible to adopt the period reduction coefficient of 0.8 in the design.

Keywords: tall buildings; prefabrication; modularization; shear wall; formwork shell; stiffness

0 引言

模块化建筑(modular integrated construction, MiC)是装配式建筑的一个子集,其基本概念是将建筑按功能拆分为不同模块,将结构、装修、机电等在工厂预制,并在现场进行拼装,最终完成整体建筑建造。模块化建筑具有施工速度快、低碳环保及施工质量好等^[1-2]优点,任刚等^[3]在广德市科创实验学校项目中运用了MiC技术,实现了150d快速建造,项目整体装配率达85%的成绩。

模壳剪力墙体系^[4]采用免拆模和成型钢筋技术,极大地提高了施工效率、施工质量及装配率,拥

有良好的发展前景^[5-6]。目前,对模壳剪力墙体系的抗震性能及设计方法的研究较少,相关分析尚显不足。符宇欣等^[7]认为设计时可近似取47.5%的模壳厚度,徐伟栋等^[8]认为从细微角度分析,模壳剪力墙刚度稍大于后者。为此,本文以深圳市龙华樟坑径项目1号塔楼为研究对象,研究分析剪力墙模壳对结构刚度的影响。

1 工程概况

1.1 结构概况

深圳市龙华樟坑径项目共5栋高层住宅塔楼:1~3号塔楼主屋面结构高度为99.55m,含3.5层地下室;4,5号塔楼主屋面结构高度为98.95m,含2.5层地下室。5栋塔楼间通过半开敞地下室连为一个整体的多塔结构,结构嵌固端设在基础顶。本文以该项目1号塔楼为研究对象。

*“十四五”国家重点研发计划(2023YFC3806600);中国建筑国际科技研发课题(CSCI-2023-Z-9, CSCI-2024-Z-7)

[作者简介] 屈健,高级工程师, E-mail: hlqujian@cohl.com

[收稿日期] 2025-05-20

1 号塔楼首层高 6.5m,标准层高 3.0m,地上共 28 层。在 1,2 层楼面存在局部转换,不落地墙面积占比为 7.15%。结构计算模型如图 1 所示。

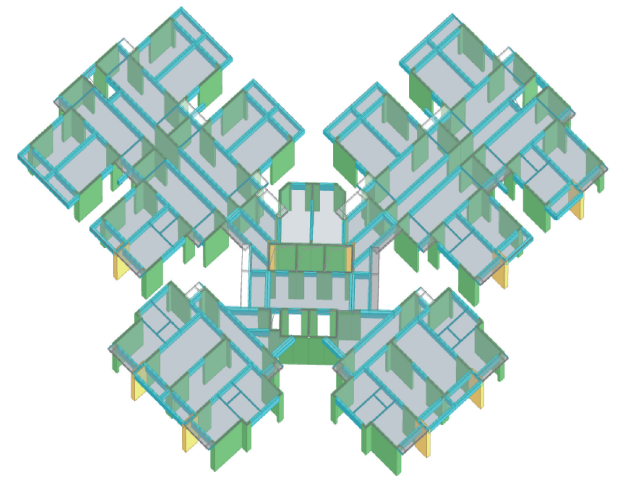


图 1 结构计算模型

Fig. 1 Computation model of the structure

建筑抗震设防类别为丙类,设防烈度为 7 度 (0.1g),设计地震分组为第 1 组,场地类别为 II 类,场地特征周期为 0.35s;风荷载基本风压 0.75kN/m^2 ,地面粗糙类别为 B 类;框支框架抗震等级为一级,其余为二级。

1.2 装配式建筑技术方案

为满足深圳市装配式建筑设计阶段评分表(混凝土结构)技术评分的要求,结构采用以混凝土 MiC 模块为模板及围护的现浇剪力墙结构体系。混凝土 MiC 由建筑围护结构、剪力墙(柱)或梁侧模、预制叠合板及地面装饰装修层组成,结构墙、柱、梁均为全现浇,走廊及核心筒楼板为全现浇,户内楼板为叠合板,楼梯采用预制楼梯,楼梯间局部隔墙采用非承重预制墙板(梁下挂)。

其中,围护结构墙为轻质混凝土墙加泡沫块,梁柱墙侧模模壳为 30mm 厚 C60 混凝土及装修面层,顶板为预制叠合板(板厚 60mm+70mm、与走廊相邻部位模块板厚 60mm+90mm)及天花装修面层,底板为 60mm 厚 C30 混凝土底板加 20mm 厚的装修面层。标准层预制构件布置如图 2 所示,MiC 详图及部分连接节点如图 3~8 所示。为减小预制构件对结构刚度的影响,模壳隔墙与现浇剪力墙均设有泡沫板。

2 塔楼预制装配式对主体结构影响的评估

2.1 部分预制构件对结构刚度影响的评估

预制构件不包含竖向结构构件,结构体系同现浇结构判定。公区轻质预制内隔墙条板采用砂浆和射钉与主体连接,连接形式等同于砌体拉结筋,并且自重比砌体稍小或相当,对主体结构受力无影

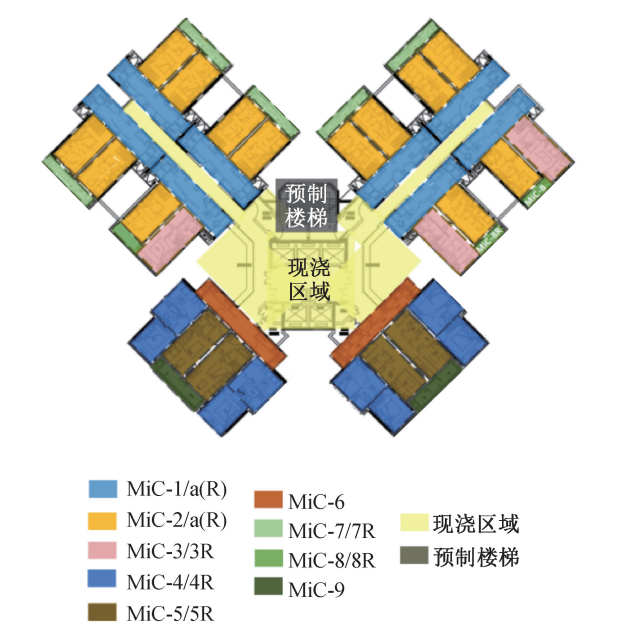


图 2 标准层预制构件布置

Fig. 2 Layout of standard layer precast components

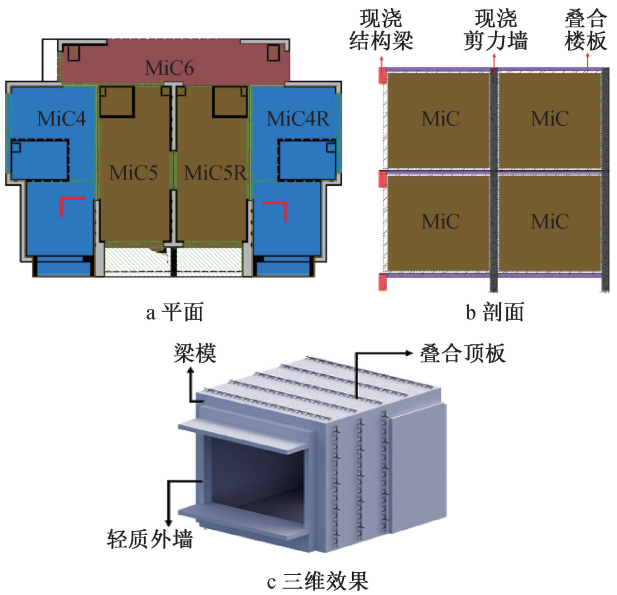


图 3 MiC 详图

Fig. 3 MiC details

响;预制阳台为水平构件,对主体结构受力无影响;预制楼梯低端采用滑动铰支座、高端采用固定铰支座,对主体结构受力无影响;楼梯间预制隔墙为梁下挂式非承重墙板,对主体结构受力的影响通过梁刚度放大系数增加 0.3 进行考虑。

2.2 剪力墙模壳对结构刚度影响的评估

混凝土 MiC 有剪力墙模壳,其中外墙剪力墙内侧模壳厚 30mm,内墙剪力墙双侧模壳均厚 30mm,因此需考虑混凝土模壳对结构刚度的影响。

依据 YJK 软件建立 2 个对比模型。对比计算模型如表 1 所示。通过 2 个模型的对比结果,分析

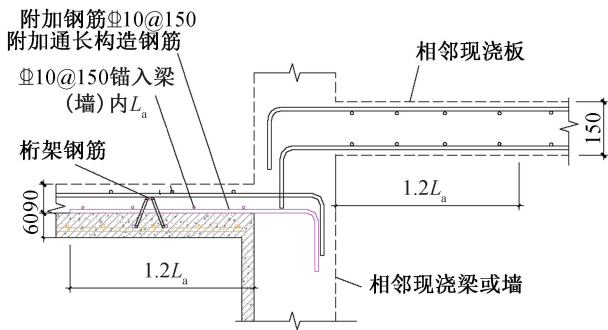


图 4 MiC 与主体结构连接(部分)

Fig. 4 Connection between MiC and main structure (partial)

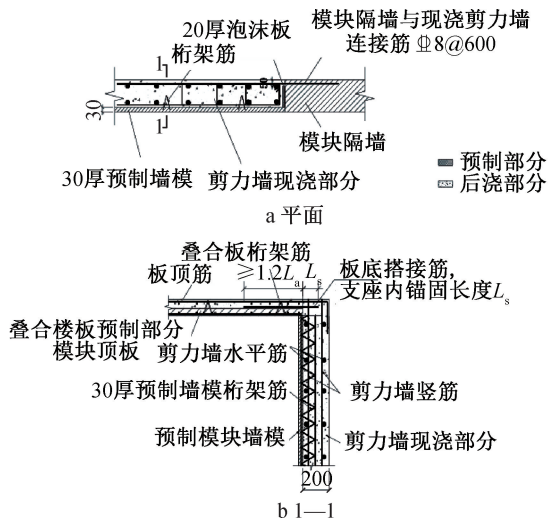


图 5 剪力墙模壳与隔墙连接(部分)

Fig. 5 Connection of shear wall formwork shell and partition wall (partial)

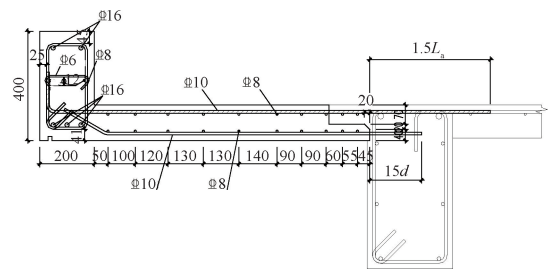


图 6 预制阳台大样

Fig. 6 Details of precast balcony

混凝土剪力墙模壳对结构刚度的影响。

3 结果分析

从结构自振周期、层间位移角、基底剪力等方面进行分析研究。

3.1 结构质量与自振周期

模型 1,2 自振周期如表 2 所示。由表 2 可知, 2 个模型自振周期相差约 2.5%。模型 1 结构总重 71 566. 3t, 模型 2 结构总重 71 618. 7t, 2 个模型质量相差 0. 07%。

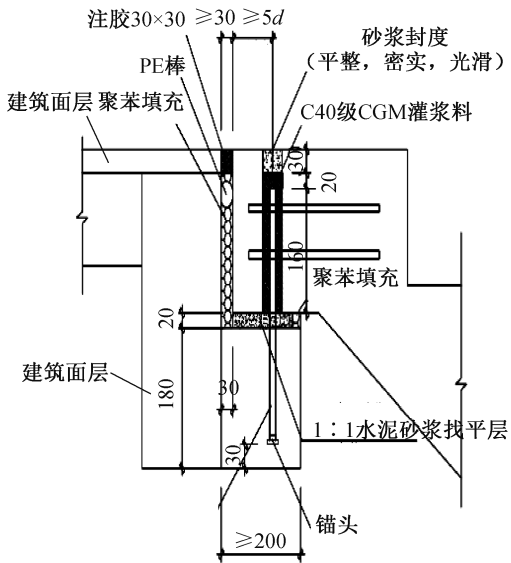


图 7 预制楼梯铰支座

Fig. 7 Precast staircase hinge support

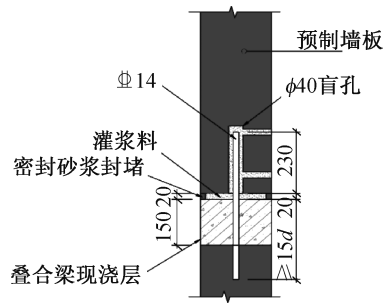


图 8 预制楼梯隔墙

Fig. 8 Precast staircase partition wall

表 1 计算模型对比

Table 1 Comparison of calculation models

计算模型	剪力墙厚度/mm	周期折减系数	荷载考虑
模型 1 (剪力墙厚度取 200mm 厚现浇层+模壳)	230, 260	0. 9	附加线荷载: 20kN/m; 附加楼面荷载: 2. 5kN/m ²
模型 2 (剪力墙厚度取 200mm 厚现浇层)	200	0. 9	附加线荷载: 剪力墙单侧模壳 2. 5kN/m、双侧模壳 5. 0kN/m; 内隔墙取 20kN/m。 附加楼面荷载: 2. 5kN/m ²

表 2 结构自振周期

Table 2 Free vibration period of structure

项目	模型 1 自振周期/s	模型 2 自振周期/s	比率
第一振型	2. 715	2. 796	1. 030
第二振型	2. 441	2. 503	1. 025
第三振型	2. 288	2. 355	1. 029
周期比	0. 843	0. 842	—

由表 2 可知,模型 1 考虑了预制模壳对刚度的影响,刚度比模型 2 大,所以模型 1 自振周期小于模型 2,两者影响比例在 3% 左右,2 个模型周期比均满足 JGJ 3—2010《高层建筑混凝土结构技术规程》^[9] 的要求。

3.2 层间位移角

2 个模型在地震与风荷载作用下的层间位移角分布曲线分别如图 9、10 所示。由图 9、10 可知,在地震和风荷载作用下,模型 1 层间位移角均小于模型 2。

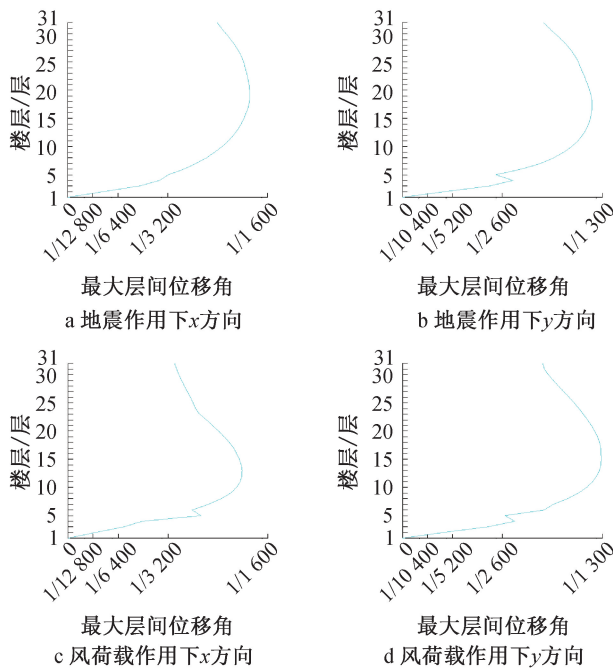


图 9 模型 1 层间位移角分布曲线

Fig. 9 Interlayer displacement angle distribution curve of model 1

在地震作用下,模型 1 x 方向层间位移角比模型 2 减小 5.79%, y 向减小 7.13%;在风荷载作用下,模型 1 x 方向层间位移角比模型 2 减小 4.73%, y 方向减小 7.23%。

由分析可知,因模型 1 考虑了预制模壳对刚度的影响,所以模型 1 层间位移角比模型 2 减小 4.73%~7.23% ($<10\%$)。

3.3 基底剪力

模型 1、2 x 、 y 方向基底剪力对比如表 3 所示。由表 3 可知,因模型 1、2 结构总质量接近,所以 2 个模型基底剪力也基本一致。

3.4 剪力墙模壳对结构刚度影响的评估

项目结构梁、墙、柱均为全现浇,核心筒区域的梁、板、墙、柱均为铝模现浇,仅户内采用混凝土 MiC;混凝土 MiC 仅作为结构墙、柱、梁施工模板或

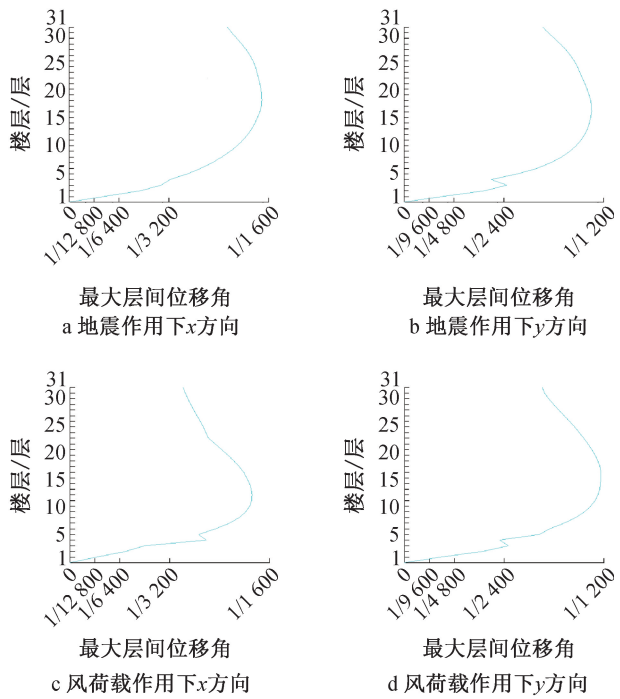


图 10 模型 2 层间位移角分布曲线

Fig. 10 Interlayer displacement angle distribution curve of model 2

表 3 结构基底剪力			
Table 3 Base shear force of structure			
方向	模型 1 基底剪力/kN	模型 2 基底剪力/kN	模型 1/模型 2
x	11 771.1	11 767.5	1.000 3
y	10 793.3	10 641.0	1.014 3

建筑围护墙,与主体结构仅通过构造钢筋连接,为非承重结构构件。

模型 1 考虑剪力墙模壳对结构刚度的影响,模型 2 仅将剪力墙模壳视为荷载而未考虑其对结构刚度的贡献,即模型 1 刚度大于模型 2,所以在 2 个模型总质量极为接近的情况下,模型 1 自振周期、层间位移角均小于模型 2。由于模型 1、2 质量接近,所以 2 个模型基底剪力也极为接近。

经计算对比,混凝土 MiC 自带剪力墙模壳使结构刚度增大 4.73%~7.23%,此外考虑 MiC 自带一部分构造陶粒混凝土墙隔墙对刚度的影响较模壳小,因此模壳对结构刚度的增加比例在 10% 以内。因此,计算剪力墙厚度取现浇厚度 200mm、周期折减系数按 0.8 进行计算。

4 结语

本文旨在研究混凝土剪力墙模壳对主体结构的影响。通过对模型 1(剪力墙厚度取 200mm 厚现浇层+模壳)与模型 2(剪力墙厚度取 200mm 厚现浇层)自振周期、层间位移角及基底剪力等关键指标

进行对比分析,得出如下结论。

1)模型 1,2 质量仅相差 0.07%、基底剪力基本相同;层间位移角、周期比等指标均满足规范要求。

2)模型 1 层间位移角比模型 2 小 4.73%~7.23%。

3)通过对比分析,模壳对结构刚度的增加比例控制在 10%以内,因此采用周期折减系数 0.8 进行计算合理且可行。

参考文献:

[1] BOYD N, KHALFAN M M A, MAQSOOD T. Off-site construction of apartment buildings[J]. Journal of architectural engineering, 2013, 19(1): 51-57.

[2] 赵春婷, 朱宏利, 潘磊. 钢框架模块化建筑适应性设计实践[J]. 城市建筑空间, 2024, 31 (10): 118-120.

ZHAO C T, ZHU H L, PAN L. Adaptive design practice of steel frame modular building [J]. Urban building space, 2024, 31(10): 118-120.

[3] 任刚, 王琼, 张智勇, 等. C-MiC 技术在广德市科创实验学校项目中的应用[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53 (22): 129-133.

REN G, WANG Q, ZHANG Z Y, et al. Application of C-MiC technology in Guangde Science and Innovation Experimental School project [J]. Construction technology, 2024, 53 (22): 129-133.

[4] 中国建筑科学研究院有限公司, 上海衡煦节能环保技术有限公司. 装配复合模壳体系混凝土剪力墙结构技术规程: T/CECS 522—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.

China Academy of Building Research Co., Ltd., Shanghai Hengxu Energy Saving and Environmental Protection Technology

Co., Ltd. Technical specification for concrete shear wall structure with prefabricated composite shell-form system: T/CECS 522—2018[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.

[5] 徐伟栋, 符宇欣, 顾浩声. 《上海市装配式建筑单体预制率和装配率计算细则》文件新增内容解读[J]. 建筑结构, 2020, 50(17): 7-12.

XU W D, FU Y X, GU H S. New contents interpretation of Detailed rules for calculation of prefabrication rate and assembly rate of single prefabricated buildings in Shanghai City [J]. Building structure, 2020, 50(17): 7-12.

[6] 张鹏程, 汤永净. 基于混凝土浇筑条件下的模壳墙侧压力分析[J]. 施工技术(中英文), 2021, 50(24): 100-103, 127.

ZHANG P C, TANG Y J. Analysis of lateral pressure of formwork wall based on concrete pouring [J]. Construction technology, 2021, 50(24): 100-103, 127.

[7] 符宇欣, 王凯, 李伟兴. 装配式复合模壳剪力墙体系结构性能分析[J]. 建筑结构, 2024, 54(12): 118-124.

FU Y X, WANG K, LI W X. Analysis on structural performance of shear wall with prefabricated composite shell-form system [J]. Building structure, 2024, 54(12): 118-124.

[8] 徐伟栋, 李伟兴, 李盼. 装配式复合模壳剪力墙体系的设计与工程应用[J]. 建筑结构, 2022, 52(12): 25-30.

XU W D, LI W X, LI P. Design and project application of shear wall with prefabricated composite shell-form system [J]. Building structure, 2022, 52(12): 25-30.

[9] 中国建筑科学研究院. 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ 3—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

China Academy of Building Research. Technical specification for concrete structures of tall building: JGJ 3—2010 [S]. Beijing: Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.