



外墙板承重型装配式混凝土住宅结构体系研究

邹芳玉¹, 裴春蕾¹, 卫 格¹, 王艺霖²

(1. 山东盛士力建筑工业科技有限公司, 山东 烟台 265700; 2. 山东建筑大学 土木工程学院, 山东 济南 250101)

摘要:普通剪力墙结构的住宅存在内部空间布置不太灵活的问题, 框架结构的住宅常因较大的柱子而影响空间使用。为此, 基于承重型外墙板、全预制楼板和楼梯, 通过新型的楼层处连接构造方式, 提出了一种外墙板承重型装配式混凝土住宅结构体系。研究表明: 本结构的预制率和装配率高、构件体量适中、安装简便可靠, 同时具有完善的设计依据和方法。本文结果可为相关研究提供参考。

关键词: 装配式混凝土; 住宅; 墙板; 预制板

中图分类号: TU375

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)04-0049-07

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.04.050

Research on the exterior wall panel bearing-type prefabricated concrete residential structure system

ZOU Fangyu¹, PEI Chunlei¹, WEI Ge¹, WANG Yilin²

(1. Shandong Shengshili Construction Industry Technology Co., Ltd., Yantai 265700 Shandong, China;
2. School of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, Shandong, China)

Abstract: Residential buildings with ordinary shear wall structures have the problem of inflexible internal space layout, and residential buildings with frame structures often have space usage affected by larger columns. Therefore, based on load-bearing exterior wall panels, fully prefabricated floor slabs and stairs, a new type of floor connection construction method is proposed and then an exterior wall panel bearing-type prefabricated concrete residential structure system is established. The research combined with example shows that the prefabrication and assembly rates of this structure are high, the component size is moderate, the installation is simple and reliable, and it also has a comprehensive design basis and method.

Key words: prefabricated concrete; residential; wall panels; prefabricated slab

混凝土结构在住宅建筑领域具有很多突出的优势^[1-2], 在装配式的时代潮流影响之下, 装配式混凝土住宅体系的研发也日益成为热点。作为墙体较多的建筑类型, 住宅结构装配化研究的焦点也在于墙体。由于很多高层住宅采用剪力墙结构体系, 对应的研究为装配式或装配整体式剪力墙结构, 如李锡洲等^[3]基于全装配式剪力墙结构, 研究了螺栓连接型多层全装配式混凝土墙板结构(以预制墙板和预制楼板为主要承重构件)的力学

性能并进行了实际案例分析; 雷倬锋^[4]将传统装配式剪力墙墙身分布筋在楼面处断开后以坐浆连接替代, 得到一种 SCBL 装配整体式剪力墙。在偏于保守的情况下, 为确保竖向承重构件的质量, 也可采用现浇剪力墙, 将楼板作为主要的预制构件, 如谢龙宝等^[5]面向实际工程采用了“现浇剪力墙+全预制实心板”的装配式结构体系并从结构布置、预制率分析、楼板对比等方面进行了详细探讨。此外, 也有住宅采用的是框架体系, 以

收稿日期: 2023-08-22

基金项目: 教育部“长江学者和创新团队发展计划”项目(IRT13075)

作者简介: 邹芳玉(1995—), 男, 助理工程师, 从事装配式混凝土结构方面的研究。

利用其空间布置灵活的优势,对应的研究为装配式或装配整体式框架结构,如宋小辉等^[6]针对装配式框架结构住宅在楼板构造上的一些缺陷,提出了一种免于现浇叠合的全预制型楼板,对预制板与预制梁、柱的搭接节点进行全新的构造设计,可显著降低现场湿作业量、快速完成整体拼装。同时,在预制构件的生产技术^[7]、构件的现场连接技术^[8]等方面也不断有新的研究成果出现。

但总体来看,剪力墙结构体系存在承重墙体多且不能拆、内部空间布置不太灵活的问题,框架结构体系存在柱子截面偏大、影响住宅室内空间使用的问题,仍有必要继续开发新型的结构体系。为此,本文将面向多层住宅,提出一种外墙板承重型装配式混凝土住宅结构体系,在一定程度上兼具剪力墙结构与框架结构的优点,进而结合实例对其力学性能、分析和设计方法进行深入探讨。

1 外墙板承重型装配式混凝土住宅结构方案

1.1 结构体系概述

外墙板承重型装配式混凝土住宅结构体系,主要包括承重型预制外墙板、预制楼板、楼梯系统。

承重型预制外墙板为夹芯式构造,包含承重内叶、保温隔热层和外叶。预制楼板可采用 SP 预应力空心板^[9],根据图集《SP 预应力空心板》(05SG408)中的允许荷载表进行选型。预制楼板一般单向布置,直接支撑在住宅的外墙上。楼层处的连接构造为本方案的构造特色,将在 1.4 节详细介绍。

楼梯系统选取承重内墙+预制小板(含踏步板和休息平台板)的构造方案。若楼梯的纵向为南北向,被楼梯间打断的预制楼板可以将端部直接支撑在承重内墙上;若楼梯的纵向为东西方向,则需在承重内墙的角部布置豁口以支撑“过渡梁”,该梁用来支撑楼板端部。

住宅内部的墙体为非承重墙,可采用蒸压加气混凝土墙板^[10]等。

1.2 一般规定

(1) 抗震等级的确定:设防烈度为 8 度、7 度时,分别取三级、四级^[9,11,12]。

(2) 预制墙板的轴压比要求:三级时不大于

0.15,四级时不大于 0.2^[11]。

(3) 结构分析方法:可采用弹性方法^[9,11];地震作用可采用底部剪力法计算,各墙肢按照负荷面积分担地震力;采用后浇混凝土连接的预制墙肢可作为整体构件考虑。

(4) 结构侧移要求:在风荷载或多遇地震作用下,按弹性方法计算的楼层层间最大水平位移与层高之比($\Delta u_e/h$)不宜大于 1/1 200^[9,11]。

1.3 预制外墙板及其连接

1.3.1 最小墙厚与配筋要求

墙板厚度不宜小于 140 mm 且不宜小于层高的 1/25,应配置双排双向分布钢筋网,水平及竖向分布筋的最小配筋率不小于 0.15%^[9,11]。

1.3.2 墙板的水平接缝

宜设置在楼面标高处,并应满足:水平缝灌缝或坐浆,接缝厚度宜为 20 mm;接缝处应设置连接节点,节点间距不宜大于 1 m;穿过接缝的连接钢筋数量应满足接缝受剪承载力的要求,且配筋率不应低于墙板竖向钢筋配筋率,连接钢筋直径小于 14 mm;钢筋的连接方式可采用套筒灌浆、浆锚搭接或焊接^[9]。

1.3.3 墙板的竖向接缝

采用带后浇段的整体式竖向接缝连接方式,有利于保证结构的整体性、接缝的耐久性、防水及防火性能^[9]。具体方式分为两种情况:

(1) 普通竖向接缝(一字型墙板的直接连接):在墙板内叶靠近边缘处沿竖向布置若干吊环螺栓(图 1),在相邻墙板就位之后这些吊环螺栓的竖向位置应上下交错,然后用一根竖向钢筋贯穿各吊环螺栓,之后向墙板接缝处灌入微膨胀混凝土。



图 1 墙板侧面的吊环螺栓示意

(2) 拐角处竖向接缝构造。此处有相互垂直的墙板需要进行连接, 可采取与上类似的方式, 具体如图 2 所示。

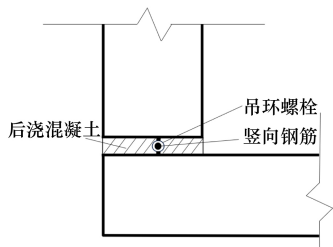


图 2 墙板的垂直连接示意

1.3.4 构造边缘构件的设置

在水平或竖向尺寸大于 800 mm 的洞边、一字墙墙体端部、纵横墙交接处设置构造边缘构件^[11]。基本要求: 截面高度不宜小于墙厚、且不宜小于 200 mm; 截面宽度同墙厚; 配置纵向受力钢筋、箍筋、箍筋架立筋; 上下层构造边缘构件纵向受力钢筋可采用灌浆套筒连接、浆锚搭接连接等。

1.3.5 基础设计及预制墙板与基础的连接

采用现浇大平板基础, 基础顶面应设置现浇混凝土圈梁^[9], 圈梁上表面应设置粗糙面, 各预制墙板与圈梁顶面之间的接缝构造应符合相关规范的要求^[9]。墙板与基础的连接通过套筒灌浆的方式进行, 选取墙板的部分竖向钢筋参与连接。

1.4 楼层处的连接构造

首先沿楼层处的周长布置一圈圈梁的预制部分(包括直线型和 L 型两大类)并围合一个封闭的矩形。在各预制部分向楼盖内部方向伸出弯钩钢筋, 对相邻预制部分的临近弯钩钢筋进行绑扎连接, 同时在预制部分的高度中部设有螺纹钢套筒作为灌浆通道, 在预制部分的外侧布置一根竖向钢筋, 其在靠近上下两端处各连接一个螺纹钢套筒, 并在竖向钢筋的伸出部分加工有外丝, 在上下层外墙板的外叶部分相应的位置预埋有预制铁盒, 将竖向钢筋的伸出部分穿入铁盒之内并用螺母实现固定。更具体来说, 连接构造要区分两种情况:

(1) 预制楼板短边的支撑端如图 3 所示。

主要连接步骤: 将 SP 板支撑于下层的外墙板内叶上; 沿一周布置好圈梁的预制部分并通过 M12×60 螺纹钢套筒及预埋铁盒、螺母实现与下

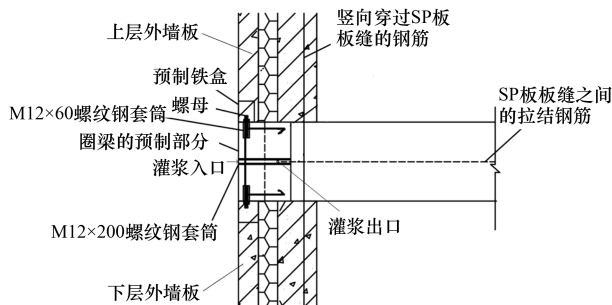


图 3 预制楼板短边的支撑端构造剖面示意

层外墙板的连接; 上层外墙板就位, 并按同样的方式与圈梁的预制部分实现连接; 将上、下层墙板内叶中的“竖向穿过 SP 板板缝的钢筋”连接起来, 并将 SP 板板缝之间的拉结钢筋与圈梁预制部分的螺纹钢套筒进行连接; 通过钢套筒向连接区域的内部围合空间内灌浆直至密实。

对于竖向穿过 SP 板板缝的钢筋: 如果 SP 板纵向板缝的位置处正好对应有外墙板内叶之内的竖向分布钢筋, 则直接将竖向分布筋延伸出来即可; 否则需单独布置竖向连接筋。

(2) 预制楼板长边的支撑端如图 4 所示。

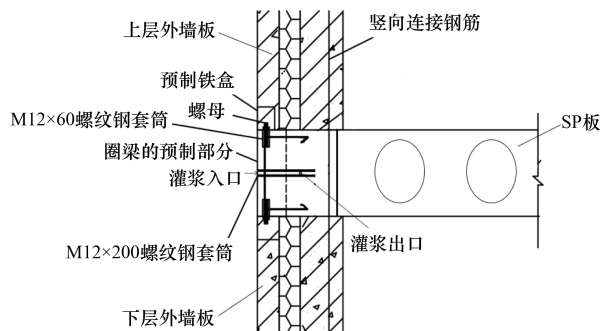


图 4 预制楼板长边的支撑端构造剖面示意

(注: “竖向连接钢筋”只布置在每个外墙板靠近两侧端部的位置。)

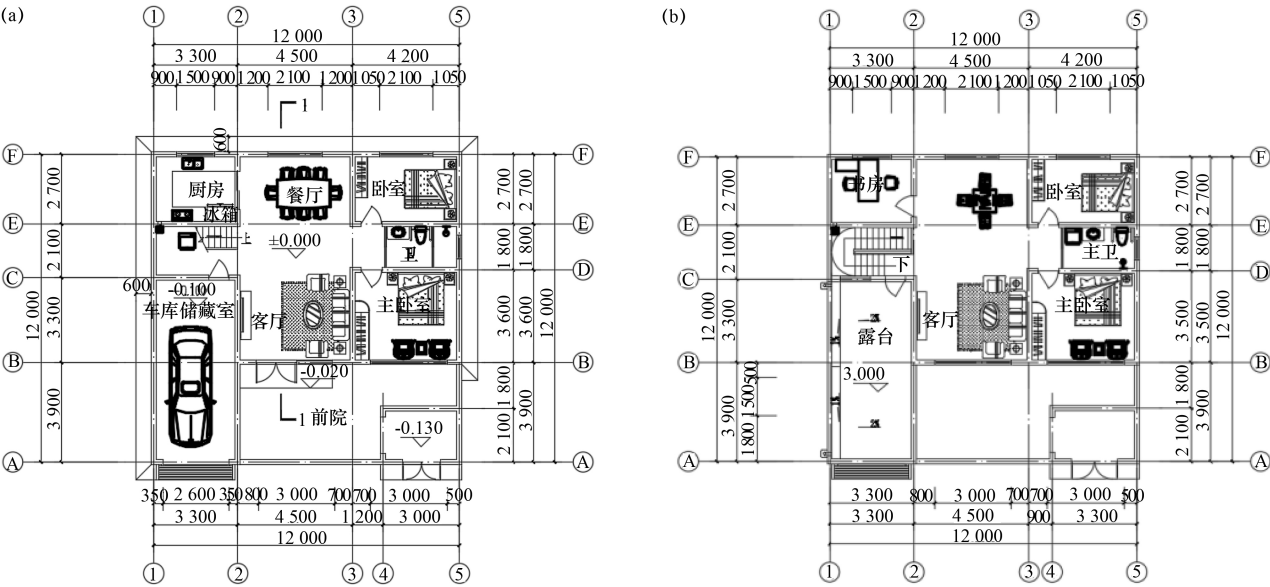
同时结合 SP 板长边方向也有钢筋拉锚的规范要求, 可利用横向拉锚钢筋将边缘处的 SP 板与竖向墙板上部连接起来。

2 设计实例

以某二层住宅楼(七度设防)为例进行新型结构体系的设计说明(图 5), 重点介绍楼板及布置、楼梯系统和外墙。

2.1 楼板布置

选择厚度为 300 mm 的 SP 板, 沿东西方向布置。二层和顶层的布置方案分别如图 6、7 所示。



(a) 首层平面；(b) 顶层平面

图 5 某二层住宅楼的平面布置

mm

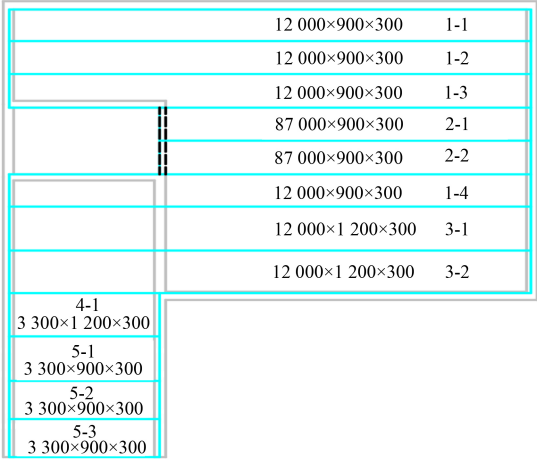


图 6 二层的 SP 板布置示意

mm

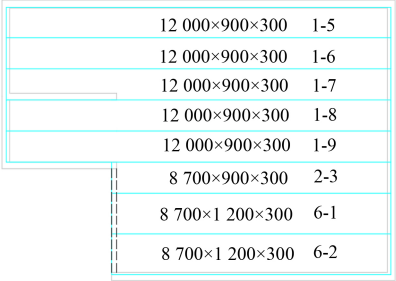


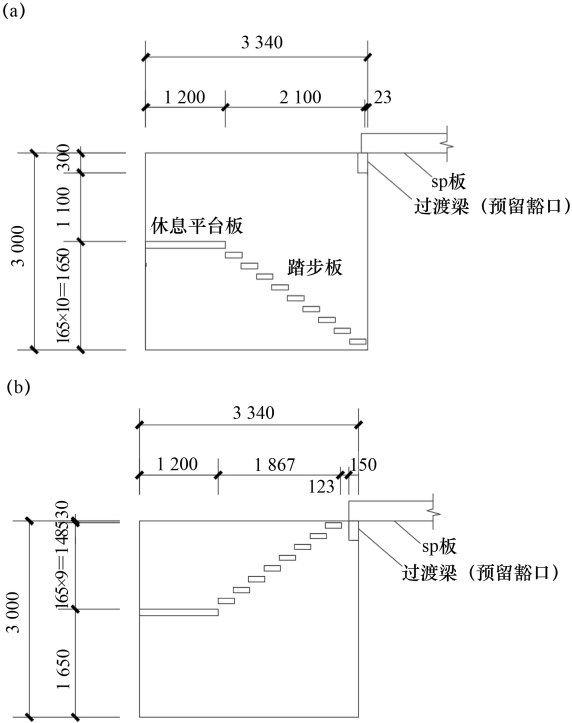
图 7 顶层的 SP 板布置示意

mm

(注 1: 1) 图 6 中的虚线部分即为楼梯间处的“过渡梁”；2) 由于本户型的特殊性，为了让二层 B、C 之间的 SP 板不受负弯矩，所以考虑在顶层②轴处设置一个“支撑梁”（图 7 中的虚线部分）来支撑右侧的 SP 板；3) 板缝内布置 8 的纵向拉结钢筋并灌缝。)

2.2 楼梯系统相关构造

在 C 轴和 E 轴各布置一个承重内墙，角部豁口支撑过渡梁，过渡梁支撑 SP 板端部，踏步板和休息平台板均为悬臂板的形式，与内墙采用套筒灌浆的方式进行连接，如图 8 所示。



(a) C 轴承重内墙；(b) E 轴承重内墙

图 8 楼梯系统构造示意

mm

均选用 C30 混凝土和 HRB400 钢筋。预制踏步板和休息平台板的信息如表 1 所示。

表 1 预制踏步板和休息平台板信息

类型	长 × 宽 × 高/mm	数量/个	连接钢筋
预制踏步板	900 × 250 × 80	17	2 根Φ8
休息平台板	930 × 1200 × 100	2	7 根Φ8

过渡梁长度为 2 220 mm, 设计得到断面示意如图 9 所示。

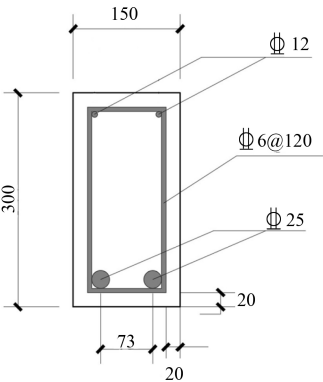


图 9 过渡梁的断面示意 mm

承重内墙的厚度为 180 mm, 经过荷载分析、豁口处局部受压验算并考虑各悬挑板的连接筋布置后可得到配筋方案。以 C 轴承重内墙为例, 配筋如图 10 所示。

2.3 外墙构造、布置及配筋方案

高度统一取为 3 m。可分为实心墙板、带窗洞墙板、带门洞墙板、窗下墙板, 布置方案如图 11 所示。外墙板的信息汇总如表 2 所示。

支撑梁的实际长度为 3 510 mm, 设计得到的断面尺寸及配筋与“过渡梁”一致(图 10)。

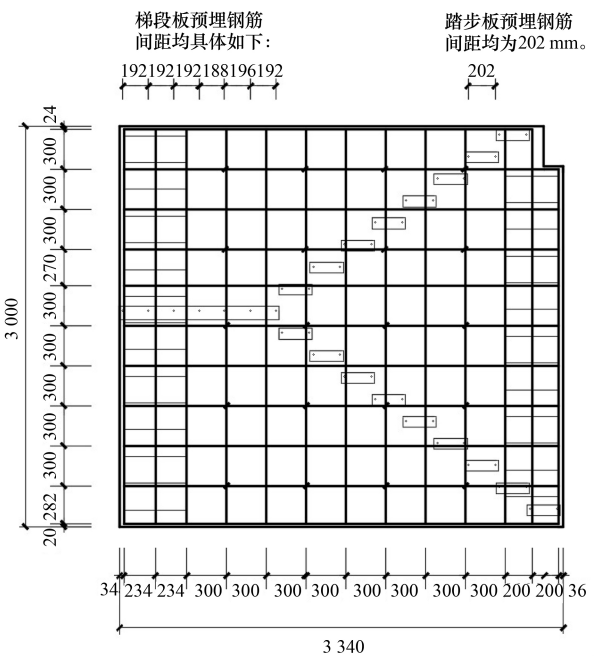


图 10 C 轴承重内墙的配筋示意 mm

⑬号墙板的宽度为 3 340 mm, 配筋基本同楼梯处的承重内墙, 但可不考虑悬臂小板的影响, 基本信息和配筋如表 3 所示。

其余外墙板厚度 240 mm(内叶 120 mm、芯层 70 mm、外叶 50 mm)。确定内叶配筋时取宽度为 1 m 的墙板作为计算单元。南北方向的外墙板为主要的承重墙板, 结合《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1—2014)^[9], 在七度设防区按三级考虑, 而东西方向的剪力墙可按四级考虑。经过初选、剪力设计值验算、正截面受压承载力验算、斜截面受剪承载力验算、最小配筋率验算, 设计得到各普通剪力墙(无窗洞)的配筋如表 4 所示。

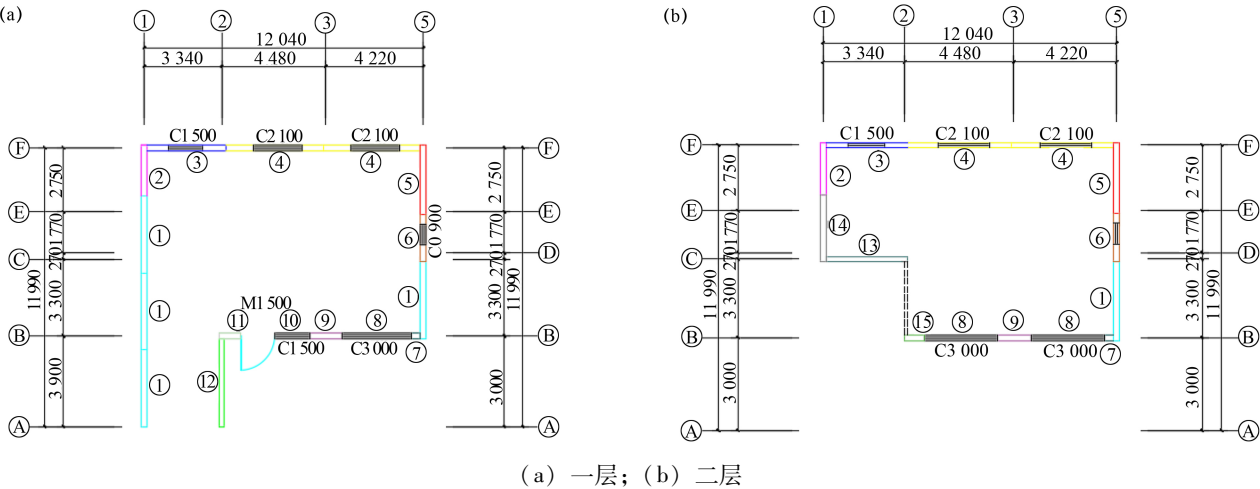


图 11 外墙板的布置示意 mm

表 2 外墙板信息汇总

外墙编号及外尺寸(含板缝)(宽×厚×高,mm)	类型	数量
①,3 300×240×3 000	实心矩形	5
②,2 210×240×3 000	实心矩形	2
③,3 400×240×3 000	矩形带窗洞(1 500×1 200)	2
④,4 200×240×3 000	矩形带窗洞(2 100×1 200)	4
⑤,3 000×240×3 000	实心矩形	2
⑥,2 030×240×3 000	矩形带窗洞(900×1 200)	2
⑦,380×240×3 000	实心矩形	2
⑧,3 000×240×900	窗下板	3
⑨,1 400×240×3 000	实心矩形	2
⑩,1 500×240×900	窗下板	1
⑪,920×240×3 000	实心矩形	2
⑫,3 780×240×3 000	实心矩形	1
⑬,3 340×180×3 000	实心矩形(带豁口)	1
⑭,2 790×240×3 000	实心矩形	1
⑮,830×240×900	实心矩形(带豁口)	1

表 3 ⑬号墙板的基本信息和配筋

分布钢筋直径和间距	分布钢筋根数	端柱宽度	端柱纵筋	端柱箍筋
Φ 8,300 mm	14	同首层内墙: 左端 496 mm、右端 444 mm	6 Φ 12	Φ 6@200

表 4 各普通剪力墙(无窗洞)的配筋

墙板编号	墙宽/mm	分布钢筋直径和间距	分布钢筋根数	端柱宽度/mm	端柱纵筋	端柱箍筋
①	3300	Φ 8,300 mm	14	414	6 Φ 12	Φ 6@200
②	2210	Φ 8,300 mm	6	469	6 Φ 12	Φ 6@200
⑤	3000	Φ 8,300 mm	12	414	6 Φ 12	Φ 6@200
⑨	1400	0	0	514	6 Φ 12	Φ 6@200
⑫	3 780	Φ 8,300 mm	16	504	6 Φ 12	Φ 6@200
⑭	2 790	Φ 8,300 mm	10	459	6 Φ 12	Φ 6@200

另外注意,本例中的⑪、⑮属于短肢剪力墙。考虑对应要求,结合宽度尺寸和端柱设置要求,⑪、⑮号墙板全部按端柱配筋,具体方案如表 5 所示。

表 5 短肢剪力墙的基本信息与配筋

墙板编号	墙宽度/mm	端柱宽度/mm	端柱配筋
⑪	920	460	6 Φ 12
⑮	830	410	6 Φ 12

此外,⑦号墙板的宽度只有 380 mm,内叶厚度 120 mm,不属于短肢剪力墙,可直接按矩形柱配筋。进一步设计后发现,只需按构造配筋:纵筋:4 Φ 8(四角布置);箍筋:Φ 6@200。

本例中的带窗洞剪力墙包括③、④、⑥号墙

板,需要在洞口两侧加设端柱。进而得到配筋方案如表 6 所示。

3 结 论

用于住宅的装配式混凝土结构体系是目前的研究热点与难点,为了达到更好的技术经济性、切实提高装配率和施工便利性,本文依托某二层住宅楼实例,提出了一种新型的外墙板承重型装配式混凝土住宅结构体系。该体系的水平承重构件为全预制 SP 板,竖向承重构件为全预制夹芯式外墙板,在楼层处的构件连接方式上具有突出的创新性,采用的全预制悬臂板式楼梯系统具有一

表 6 带窗洞剪力墙的基本信息和配筋

墙板编号	墙宽/mm	洞口尺寸/mm	窗洞上下部竖向分布钢筋 的直径和间距、根数	洞口两侧、墙板端部的 端柱设置及其配筋
③	3 400	1 500 × 1 200	Φ 8,300 mm,10	洞口左侧 900 mm,设置一个大端柱;洞口右侧 1 000 mm, 设置一个大端柱。左侧:8 Φ 12;右侧:10 Φ 12
④	4 200	2 100 × 1 200	Φ 8,300 mm,14	洞口左侧 1 200 mm,设置一个大端柱;洞口右侧 900 mm, 设置一个大端柱。左侧:10 Φ 12;右侧:8 Φ 12
⑥	2 030	900 × 1 200	8,300 mm,6	洞口左侧 400 mm,设置一个大端柱;洞口右侧 730 mm, 设置一个大端柱。左侧:6 Φ 12;右侧:8 Φ 12

定的特色，具有很高的预制率和装配率，各预制构件的体量适中，便于运输和安装，节点处的连接可靠，且在内部空间的布置上具有很高的灵活性。研究表明，本外墙板承重型装配式混凝土住宅结构体系具有完善的规范依据、全面的计算体系支撑，可快速得到合理的设计结果，因此具有很强的工程应用潜力。

参考文献：

[1] 马晨光,王晶秋,倪佐元. 某多层装配式剪力墙结构住宅设计要点分析[J]. 建筑结构,2022,52(S2): 1485-1488.

[2] 刘丽霞. 住宅建筑工程中混凝土施工技术分析[J]. 居舍,2023(12):40-42.

[3] 李锡洲,钟易,张胜等. 螺栓连接多层全装配式混凝土墙板体系工程实践与结构设计[J]. 绿色建筑,2023,15(1):49-51;54.

[4] 雷伟锋. SGBL 装配整体式剪力墙结构一体化建造研究[J]. 砖瓦,2023(7):61-63.

[5] 谢龙宝,张少凯,李靖等. 装配式低层住宅全预制实心板结构设计[J]. 建筑结构,2023,53(14):8-12;26.

[6] 宋小辉,杨朋超,曹淑上. 装配式框架结构住宅免于现浇叠合的全预制板研究[J]. 建筑结构,2022,52(S2):1480-1484.

[7] 周海涛,吴大江. 装配式混凝土建筑结构设计要点[J]. 工程建设,2023,55(5):34-38.

[8] 张晋生,魏荣生,王宇辉,等. 预制装配式混凝土住宅施工关键技术研究[J]. 安徽建筑,2023,30(8): 28-29;50.

[9] 装配式混凝土结构技术规程:JGJ 1—2014[S]. 北京:中国建筑业出版社,2014.

[10] 建筑轻质条板隔墙技术规程:JGJ/T 157—2014[S]. 北京:中国建筑业出版社,2014.

[11] 装配式混凝土建筑技术标准:GBT 51231—2016[S]. 北京:中国建筑业出版社,2016.

[12] 混凝土结构设计规范(2015 版):GB 50010—2010[S]. 北京:中国建筑业出版社,2010.