

装配式建筑外围护体系一体化设计技术研究

郑元猛

山东博宇建筑设计有限责任公司

DOI:10.32629/btr.v8i11.5000

[摘要] 装配式建筑外围护体系已由单一围护功能载体,逐步转向集结构协调、节能保温、防水密封、立面表达与运维适配于一体的综合技术系统。若设计仍停留在分专业割裂推进的层面,节点冲突、性能失衡与施工返工便难以避免。依托一体化设计理念,将围护构造、主体连接、门窗界面、标准化拆分及数字化控制协同整合,不仅能够提升外围护体系的整体稳定性与实施效率,也有助于改善建筑品质、降低后期维护成本,并推动装配式建筑由构件装配走向系统集成。

[关键词] 装配式建筑; 外围护体系; 一体化设计; 节点协同; 数字化控制

中图分类号: G267 文献标识码: A

Research on Integrated Design Technology for the External Enclosure System of Prefabricated Buildings

Yuanmeng Zheng

Shandong Boyu Architectural Design Co., Ltd

[Abstract] The exterior enclosure system of prefabricated buildings has evolved from a single functional carrier to a comprehensive technical system integrating structural coordination, energy efficiency and insulation, waterproof sealing, facade expression, and operation-maintenance compatibility. If design remains confined to fragmented, discipline-specific approaches, issues such as joint conflicts, performance imbalances, and construction rework will inevitably arise. By adopting an integrated design philosophy—synergistically combining enclosure construction, main structure connections, door/window interfaces, standardized segmentation, and digital control—this approach not only enhances the overall stability and implementation efficiency of the exterior enclosure system but also improves building quality, reduces post-construction maintenance costs, and advances prefabricated construction from component assembly to system integration.

[Key words] prefabricated buildings; perimeter protection system; integrated design; joint coordination; digital control

引言

随着建筑工业化持续深化,装配式建筑的评价重点已不再局限于预制率和装配率本身,品质稳定、建造效率与全生命周期效益愈发受到重视。处于建筑内外环境交界处的外围护体系,既承接热工、防水、隔声与耐久等基础要求,也关联立面呈现、施工组织及后期维护,技术属性更为复杂。现实工程中,因设计界面分散、节点衔接不足而引发的渗漏、热桥、错台等问题仍较常见,倒逼设计思路由局部拼合转向系统统筹,在协同中提升适配性,在整合中增强完成度,已成为装配式建筑品质提升的重要方向。

1 装配式建筑外围护体系一体化设计的基础逻辑与目标定位

1.1 外围护体系的系统构成及其协同边界

在装配式建筑中,外围护体系并不是若干外墙板、门窗或保温层的简单拼接,而是围绕建筑外部界面所形成的复合性技术系统,其内部既包含预制墙板、连接节点、保温隔热层、防水密封层与装饰面层,也牵连主体结构、机电预留、立面表达及后期维护需求。由此决定了,外围护体系的设计不能停留在单一构件尺度,更不能局限于局部构造的被动补充,而应依托系统集成思维,对构件之间、专业之间、阶段之间的关系作整体统筹^[1]。尤其在装配式建造条件下,构件工厂化生产、现场装配化施工与节点精细化控制彼此交织,任何一个环节考虑不足,往往都会传导到性能、效率与品质层面,因此,边界厘清得越早,接口关系梳理得越细,后续设计的稳定性越强,一体化设计的基础也越扎实。

1.2 一体化设计的价值取向与目标指向

所谓一体化设计,关键并不在“合并”二字,而在于将建筑功能、结构安全、热工节能、构造可实施性以及立面效果置于同一逻辑链条之中,使外围护体系从源头上具备统一目标、统一尺度与统一表达。较之传统分专业、分阶段、分节点的离散式设计模式,一体化设计更强调前端协同与全过程衔接,强调把可能在施工现场暴露的问题前移到设计阶段加以消解,由此减少返工、缩短工序衔接时间,并同步提升外围护体系的耐久性、舒适性与完成度。更值得关注的是,随着高品质住宅与绿色建造要求不断提升,外围护体系已不再只是建筑外壳,而是建筑品质的重要承载界面,借助一体化设计,装配式建筑能够更好地实现技术集成、性能平衡与价值提升,这不仅契合行业发展方向,也为后续关键技术深化奠定了坚实基础。

2 装配式建筑外围护体系一体化设计的关键技术内容

2.1 围护构造与主体结构协同设计技术

外围护体系能否实现稳定装配,关键并不只在构件本身的加工精度,更在于其与主体结构之间能否形成受力清晰、位移协调、接口可控的协同关系。装配式建筑中,预制外墙板、梁柱节点、连接件埋设位置以及层间分缝方式彼此关联,一旦在设计阶段缺少统一统筹,现场便容易出现板缝错台、连接偏差放大、局部热桥集中等问题,继而影响安全性与使用品质。由此可见,围护构造设计应与主体结构设计同步展开,在轴网模数、板块尺寸、连接节点、吊装路径及允许偏差等方面形成统一基准,使外围护体系从“后适配”转向“前协同”。

以某18层装配式住宅项目为例,设计团队在初步方案阶段即将外围护墙板分格与主体剪力墙布置联动校核,借助标准层重复单元控制板块宽度,并对窗下墙、转角墙板与层间连接节点进行一体化深化,使墙板安装点位与主体预埋件位置保持高度对应。项目实施后,外墙板现场一次吊装到位率达到96.8%,较同类项目提升约8个百分点,层间接缝平均调整时间由原先的25 min缩减至15 min,施工效率明显改善。更为积极的是,结构与围护同步协同之后,节点受力路径更加明确,后续防水、保温与装饰层施工也得以建立在稳定基面之上,外围护体系整体完成度随之提升。

2.2 保温、防水与隔声性能整合设计技术

装配式建筑外围护体系的设计价值,往往体现在多性能协同而非单项指标拔高^[2]。保温连续性、防水可靠性、气密水密水平以及隔声舒适度之间并非彼此分离,若设计中仅强调某一性能,往往会在其他环节留下隐患。尤其是板缝、窗墙交接、转角收口、穿墙管线等部位,既是热工薄弱点,也是渗漏与声桥问题的高发区,因此,围护层次、密封材料、节点构造与排水组织应在同一技术逻辑中统筹安排。对装配式建筑而言,更合理的路径在于依托复合构造思维,将保温层连续设置、双道防水密封、柔性连接过渡与空腔排水构造有机结合,使外围护体系在热工、防水和声环境方面形成稳定均衡的性能结构。

某地一项装配式人才公寓工程,在外围护深化设计中采用

“保温层连续包覆+板缝双道密封+窗洞口附框隔热处理”的组合方案,并在外墙转角与层间拼缝部位增设弹性防裂构造。项目竣工后的抽检结果显示,外墙传热系数稳定控制在 $0.45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 左右,气密性达到设计要求,雨后渗漏投诉率较原方案试点阶段下降近70%。这一结果说明,性能整合并不是构造复杂化,而是依托合理分层与关键节点精细处理,实现多目标协同达成。为更直观展示一体化设计条件下外围护体系关键性能指标的优化方向,现将相关对比情况归纳如下。

表1 装配式建筑外围护体系一体化设计关键性能对比表

指标项目	常规分项设计	一体化设计
外墙传热系数 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.60	0.45
板缝渗漏率	3.8%	1.1%
现场节点返工率	7.2%	2.6%
室内外墙空气声隔声量 dB	42	48

从表1可以看出,在一体化设计模式下,外围护体系不仅热工性能更为稳定,渗漏风险和返工率也同步下降,声环境质量则得到明显改善,这种综合提升正是系统设计优势的集中体现。

2.3 门窗系统与立面界面一体化设计技术

门窗是外围护体系中最敏感、最活跃的组成部分,其安装精度、保温衔接和视觉表达,直接决定立面完整性与室内使用感受。传统做法中,门窗设计常被放在墙板设计之后单独处理,结果是洞口尺寸反复调整、附框收口不统一、保温断点增多,外立面虽然形式完整,技术层面却常显松散。围绕装配式建筑开展一体化设计,则需要将门窗系统视作外围护整体的一部分,在方案阶段便同步确定洞口模数、开启方式、窗墙比控制、附框构造及密封层关系,使门窗与预制墙板、装饰线条、遮阳构件形成连续界面。

在一个以改善型住宅为主的装配式社区项目中,设计团队借助标准化洞口模数整合门窗与墙板尺寸,并将保温附框、滴水节点、外饰面收边构造纳入统一图集管理。实施阶段,门窗安装工序与墙板装配工序得以平行衔接,单层平均作业周期缩短约12%,窗边渗漏和空鼓问题大幅减少。更值得注意的是,建筑立面未因技术整合而趋于单调,反而借助统一模数基础上的局部变化,形成更清晰的比例关系与视觉节奏,说明技术一体化并不排斥建筑表达,相反,它为立面品质提供了更可靠的支撑。

2.4 标准化拆分与深化设计衔接技术

装配式建筑外围护体系若要真正落地,设计图纸必须能够顺利转化为可生产、可运输、可吊装、可维护的构件体系,这便要求标准化拆分与深化设计之间形成紧密衔接。板块划分过碎,会增加模具成本和现场拼缝数量;板块过大,又可能造成吊装受限、运输风险上升以及节点处理困难^[3]。真正有效的一体化设计,不在于一味追求标准件数量最大化,而在于借助模数协调、板型归并与节点分级处理,在建筑表达和工程实施之间找到更高效的平衡点。

某装配式办公建筑项目在前期立面方案较为复杂,若按原始分格直接深化,外墙板类型将超过40种,生产组织和现场管理压力较大。设计团队在不改变整体立面风格的前提下,对相近板块进行归并处理,将标准板型控制在16种以内,并对异形节点采用“标准板+局部调节件”的方式优化。结果表明,构件模具投入减少约30%,运输批次减少18%,现场拼装效率稳步提升,设计表达也未受到明显影响。由此可见,标准化拆分并非对建筑个性的削弱,而是借助技术整合提高外围护体系的可实施性、经济性与工程稳定性,这一思路也为后续全过程协同和数字化精细控制奠定了基础。

3 装配式建筑外围护体系一体化设计的实施路径与优化方向

3.1 构建全过程协同设计机制

外围护体系一体化设计要真正落到工程层面,单靠某一专业的局部优化远远不够,越是装配化程度较高的项目,越需要将建筑、结构、机电、幕墙、生产与施工纳入同一协同框架之中。设计前期若能同步明确模数规则、节点接口、预留预埋与安装逻辑,许多原本会在施工阶段暴露的矛盾,往往可以被提前消解;由此形成的,不只是图纸层面的统一,更是建造秩序的前移。对装配式建筑而言,外围护体系本就兼具构造属性、制造属性和安装属性,协同越充分,设计成果越完整,现场实施越平稳,项目品质也更容易保持稳定提升。与此同时,责任边界与协同流程若能在前端同步厘清,设计信息在专业之间的传递便不易失真,构件深化、工厂排产与现场吊装之间也更容易形成闭合链条,返工与等待由此减少,设计统筹的价值才能真正转化为工程效率。

3.2 强化数字化支撑下的精细化控制

随着装配式建筑精度要求不断提高,外围护体系设计也应由经验判断转向数字化校核。借助BIM建模、节点模拟与碰撞检查,可对墙板拆分、门窗收口、缝宽控制及安装顺序进行提前验证,使复杂界面在施工前便具备清晰表达。数字化的意义并不只在于“看得见”,更在于“控得住”——依托参数化调整,设计修改能够快速反馈到生产与施工端,减少信息断层与版本偏差。这样形成的设计链条更短,误差传递更少,外围护体系的可制造性、可安装性与可维护性也随之增强。进一步看,借助数据模型对关键节点进行动态比对,还可在方案迭代中同步评估材料适配、安装容差与后期检修空间,使精细化控制不再停留于

图面表达,而是延伸至加工精度与现场落实层面,设计的可控性因此更强。

3.3 完善全寿命周期评价与反馈优化体系

一体化设计的价值,不应止于竣工节点,而应延伸至建筑使用全过程。外围护体系长期暴露于风雨、温差和材料老化环境中,若设计阶段未将耐久性、可替换性与维修便利性纳入考量,后期运行成本往往会被动上升^[4]。较为理想的路径,是在设计端预留评价机制,将节能、防水、耐久、经济性与维护效率一并纳入判断标准,并结合运行反馈持续修正节点做法与材料配置。这样建立起来的,不只是一次性设计成果,而是可循环优化的技术体系;随着项目经验不断沉淀,外围护体系一体化设计也将从单项探索走向稳定成熟。尤其在高频维护部位和易老化界面中,若能提前嵌入运维视角,很多后置修补问题便可前移化解,由此形成设计、使用、反馈再设计的连续闭环,体系成熟度也会在反复验证中稳步提升。

4 结语

装配式建筑外围护体系的优化,归根结底不只是构造层面的精细处理,更关乎建筑工业化背景下设计理念的更新与建造方式的转型;当系统协同、性能整合与全过程控制逐步成为设计共识,外围护体系便不再是被动附着于主体之外的技术单元,而是承接品质提升、节能降耗与长期运维价值的重要界面。随着标准化、数字化与精细化水平持续提升,更高效、更稳定、也更具适应性的一体化设计模式,终将成为装配式建筑高质量发展的重要支撑。

[参考文献]

- [1]徐炜亮.装配式钢结构住宅外围护体系保温隔声一体化技术研究[J].中华民居,2025,18(09):157-159.
- [2]周前兵.装配式建筑外围护结构施工技术的应用[J].上海建材,2025,(02):111-113.
- [3]梁洁欣.装配式建筑从方案到施工的设计分析及问题研究[J].居舍,2023,(06):151-154.
- [4]唐小涵,蒋伟,岳彬,等.装配式公共建筑系统集成方案选型研究[J].住宅产业,2024,(02):11-17.

作者简介:

郑元猛(1979--),男,汉族,山东省泰安市人,大学本科,高级工程师,主要研究方向:结构设计、装配式设计、城市更新。