

Exploration of the Impact of Assembly Node Sealing Technology on Energy Efficiency in Prefabricated Buildings

Junzhi Chen Ping Fan

China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

As a key form of building industrialization, prefabricated buildings have prominent weak performance links at the nodes formed by the splicing of prefabricated components in their outer enclosure structure. The sealing effect of these nodes directly affects the overall airtightness and thermal continuity of the building, and is a key technical point affecting the energy consumption level of the building. The study focuses on exploring the correlation mechanism between assembly node sealing technology and building energy efficiency, comprehensively analyzing the theoretical basis and approach of the impact of node sealing on building energy consumption, and exploring optimization measures based on multi-dimensional collaboration of design, materials, construction, and operation. By analyzing the three core functions of air tightness enhancement, thermal bridge effect control, and long-term performance maintenance, it is clarified that high-quality node sealing is not only a technical guarantee for achieving design energy-saving goals, but also a key factor in improving the full life cycle characteristics and building quality of prefabricated buildings.

Keywords

prefabricated building; Node sealing; Air tightness; energy-saving effect

装配式建筑装配节点密封技术对节能效果的影响探究

陈俊枝 樊平

中国建筑科学研究院有限公司, 中国·北京 100000

摘要

装配式建筑作为建筑工业化的关键形式,其外围护结构在预制构件拼接形成的节点处存在突出的性能薄弱环节,这些节点的密封效果直接关乎着建筑整体的气密状况与热工连贯性,是影响建筑能耗水平的关键技术要点。研究着重探究装配节点密封技术与建筑节能效果之间的关联机制,全面分析了节点密封对建筑能耗产生影响的理论依据与途径,同时探究了基于设计、材料、施工及运维多维度协同的优化举措。通过分析气密性增强、热桥效应管控与长期性能维护这三大核心作用,阐明了高质量的节点密封不仅是达成设计节能目标的技术保证,更是提高装配式建筑全生命周期特性与建筑品质的关键。

关键词

装配式建筑; 节点密封; 气密性; 节能效果

1 引言

在全球建筑行业朝着低碳方向转变的情形下,装配式建筑由于其高效、环保的特质而获得普遍应用,跟现浇建筑相较,它因预制构件拼接所形成的大量接缝,对建筑围护结构的完整性和连续性形成了独特考验,节点处所的密封丧失效用,很容易引发非预期的空气渗透以及明显的热桥效应,进而成为建筑能量损耗的“短板”,严重阻碍了其节能潜力的充分释放,开展深度研究并改进装配节点密封技术,已然成为攻克装配式建筑性能难关、达成其真正绿色要义的紧迫课题,对于促进建筑产业高质量可持续发展具有关键意义。

【作者简介】陈俊枝(1994-),女,中国河南开封人,本科,工程师,从事装配式建筑、绿色建筑等研究。

2 装配式建筑节点密封技术理论基础

装配式建筑节点密封技术的理论根基源自建筑物理学、材料科学与工程构造学的交汇领域,其主要目标是维护建筑围护结构的连续性与整体性,从根本意义上说,节点是工业化预先制造的构件在现场组装而成的连接之处,这些拼接处构成了建筑气密层以及水密层的物理断点,属于能量交换与外界侵蚀的主要薄弱环节。密封技术的理论架构一方面依托于对空气渗透和热传递机制的透彻领悟:无组织的空气渗透会直接造成额外的冷热负荷,而因材料不同和构造间断形成的“热桥”则会引起明显的线性传热损耗,二者共同使建筑整体的热工性能遭到削弱,此理论着重材料性能与构造举措的协同效应,高性能弹性密封材料(如硅酮、MS胶)要能适应接缝的位移变化并长久维持粘接力,借助空腔排水、等压原理等构造规划来系统性管控可能侵入的水分与空气。一

个有效的密封体系并非仅运用单一材料，而是一项全面考量材料耐用性、构造科学性、施工可操作性以及后期维护可行性的系统性规划，其最终理论落脚点在于通过管控接缝处的物质与能量交换，达成与现浇结构等效甚至更优的连续、节能、持久的建筑围护效果^[1]。

3 装配式建筑装配节点密封技术对节能效果的影响

3.1 对建筑气密性的根本性提升与维持

预制构件相互间的装配接缝实际上是围护结构连续性的人为阻断，倘若未进行有效密封，必将成为空气渗透的集中通道，冬季的凛冽寒风或夏季的湿热空气借由这些缝隙无规律地侵入室内，会直接引发室内热环境出现波动，促使采暖或制冷系统进行额外运作以保持设定温度，这样就造成了极大的能源浪费。高效的节点密封工艺，比如运用具备出色弹性恢复能力和耐用性的密封胶带或者现场成型密封胶，可紧密填满构件间的动态间隙，即便历经长期温湿度变动和结构微小变形，依旧可以维持密封层的完整性，这不但极大减少了因空气渗入产生的冷热负荷，还增强了室内环境的舒适度与空气质量可调控性。更为关键的是，出色的气密性是达成高性能被动式建筑或采用高效新风热回收系统的必要前提，若建筑的气密性能不达标，即便墙体保温材料展现出再优良的性能，其总体的节能成效也会因“漏气”而大幅降低，节点密封是形成连续有效气密层的关键环节，其品质直接关乎建筑基本能耗的最低值，是影响节能效果最直接且最根本的因素。

3.2 对结构性热桥的削弱

热桥是建筑围护结构里热流大幅增强的局部区域，然而装配节点因连接构造繁杂、材料种类繁多，很容易变成线状或点状的热桥，若预制墙板之间的竖向接缝仅实施简易填充，混凝土肋或者金属连接件会因室内外温差而暴露，形成热流短通道，造成该部位内表面温度明显降低。这不仅在冬季造成额外的热量传导损失，还极有可能诱发结露、发霉等问题，先进的节点密封技术并非单独运作，而是与保温隔热结构进行一体化规划，这包含采用拥有隔热功能的弹性密封材料截断金属锚固件的热传导线路，或凭借创新构造设计让保温层在节点处连贯包裹，构建“断热桥”构造。在预制夹心保温墙板的边沿安置保温材料互锁企口，搭配专用密封胶条，保障保温层在节点处的连贯性，借助这类精准化设计与密封举措，能够明显降低节点位置的线性传热系数，进而削减因热桥效应引发的额外能耗，从建筑总体能耗模拟分析而言，切实管控结构性热桥，常常会取得胜过单纯提高墙体主体传热系数的节能成效，是达成深层节能的关键技术途径。

3.3 建筑围护系统长期性能稳定性的保障上

节能设计的成效并非固定不变，而是随着建筑使用时间的推移，遭遇材料老化变质、结构形状改变、环境侵蚀破

坏等诸多因素的挑战，节点作为应力与位移的汇集部位，其密封体系的耐用性直接关系到节能性能的衰减快慢，若密封材料过早丧失功效，诸如出现裂缝、变得僵硬、黏结脱落等情形，或者构造防水排水的路径发生堵塞，那么初期营造的高气密性和断热桥效果会迅速变差，建筑能耗会逐年上升。现代节点密封技术理论着重凸显系统解决方案的持久性与可信度，这关乎挑选具备卓越耐候性、抗疲劳性的密封材料，保障其设计使用年限与建筑主体相适配；在结构上规划恰当的排水与压力均衡空腔，防止水汽长时间停留对保温材料和密封体造成破坏；并于施工阶段达成标准化、可核验的工艺，保证设计意图精准实现。一种持久可靠的节点密封体系，可在较长时间内维持建筑在竣工验收时所达到的良好气密与保温状况，促使节能成效在整个生命周期内实现稳定展现，防止了因频繁维护或性能衰退引发的能源二次损耗与碳排放增多，于时间范畴内强化并拓展了初始的节能投资价值^[2]。

4 装配式建筑节点密封技术的优化策略

4.1 设计理念与构造体系的系统性创新优化

装配式建筑节点密封性能的根本支撑，起始于设计阶段的系统性创新，传统设计常常把节点当作构造细节，而优化策略却规定要把节点密封提高到和建筑性能目标同等关键的战略高度，实施一体化正向设计，这并非仅仅是挑选一种密封胶，而是搭建一个从全局到局部的性能化设计体系，关键在于落实“完整性围护”理念，把建筑的外墙、屋面、门窗等全部外围护构件当作一个整体、连贯的环境隔离层，基于此理念，节点设计的核心目的是确保该隔离层在物理与热工性能方面的连贯性，积极防范而非消极处理性能短板。

优化的具体途径呈现为构造体系的精准化与规范化协作，借助精准化的结构设计，从根源处降低或杜绝潜在热桥与渗漏通道，倡导运用“断热桥”连接件来替换穿透式金属连接，在预制夹心保温墙板边缘谋划保温材料相互嵌合的阶梯型或企口型断面，让保温层在节点处自然闭合。针对复杂连接之处，像阳台板、空调板和主体的衔接，需采用“脱离式”或“结构性保温连接”设计，全面阻断热量传导的实体通道，应当积极推进基于模数协调的标准化设计，把构件大小、接口宽度与密封材料的规格、施工操作的公差进行系统性契合，让接缝形式（如平缝、凹缝、搭接缝）和尺寸实现标准化，这既有益于工厂开展精准生产工作，还能够保证现场施工具备明确、一致的标准作为依据，消除了因节点变化多样造成的密封失效风险。

4.2 材料体系的高性能化与多维度适配性开发

节点密封材料的性能作为决定密封系统有效性与耐久性的物质依托，其优化策略已从片面突出防水或粘结性能，朝着高性能、长寿命、多功能整合的方向迈进，关键原则为高耐候性与耐久性，材料一定要长期经受住紫外线辐射、高低温循环变化（-40℃至 90℃）、水浸渍、冻融以及大气污

染物的侵害,其设计使用时长应与建筑主体结构相适配,达到25年甚至50年以上,这便需要材料拥有出色的弹性恢复率、低模量高位移性能,从而顺应装配式结构在风荷载、地震作用以及混凝土收缩徐变时的动态形变,长久维持密封层的完整性,不产生裂缝、不出现脱粘^[3]。

基于这种条件,材料向正向功能复合化发展,拥有保温隔热效能的密封材料,像具有低导热系数特性的改性硅酮密封胶或者内嵌微孔隔热填料的预制密封胶条,可直接截断节点处的热量传导,成为“材料断热桥”的有效举措,对水蒸气渗透率进行精准把控同样极为关键。理想的外墙接缝密封架构应达成“外侧密不透水,内侧透气舒缓”,即外层密封材料拥有极高的水密性能以阻挡液态水侵入,而内层的填缝材料或背部衬垫材料则容许少量水汽向外逸散,防止空腔内部结露,材料的生态环保性、施工简易性(如单一组分、无环境污染、恰当的挤出速度)以及与混凝土、涂料、保温板等多种基础材料的相融性,皆为选型时必须统筹考量的要素,未来针对材料的研发工作,将更聚焦于开发拥有自感知、自修复功能的智能密封材料,以及适合机器人自动化施工的新型材料形式。

4.3 施工工艺的精密化与过程可控性再造

即便再精良的设计与材料,要是缺少精密的施工工艺作为支撑,其性能终归会化为泡影,装配式节点密封施工优化的核心要点,是达成从“粗放式手工操作”到“标准化精密作业”的模式转变,其重点在于流程的程序化、工法化与可检验化,务必依据设计详图编撰专项作业指导书,针对每一类节点的基层处理、背衬材料填充、密封材料施作(宽度、厚度、形状)、表面修饰等工序给出清晰规定,极为关键的是基层处理,应当运用专业工具开展清洁、干燥工作,必要情况下涂抹专用底涂,这直接关乎密封材料与基材的粘结成效,是80%以上密封失败问题的源头。

过程控制的关键在于采用合适的工装工具与严谨的工

艺纪律,运用定宽美纹纸胶带保障接缝边缘齐整;选用口径相符的胶枪与专用挤出喷头,保障胶条截面丰盈、连续无遗漏;针对复杂的三面交汇角点,应当运用预先注射成型工艺或采用预制角部密封构件,杜绝手工拼接引发的隐患。施工环境状况(温度、湿度、基面含水量)的管控同样要纳入工艺规程,其关键之处在于,务必要将施工过程本身转化成可进行记录、追溯和验收的“数据流”,借助关键工序的影像留存、施工人员实名登记,乃至引入物联网装置监测施胶压强和填充紧实度,保证每一道密封作业的责任具备可追溯性、质量具备可验证性,从而根本转变施工质量依赖工人经验和自觉性的情形^[4]。

5 结语

装配式建筑的性能方面的优势,很大程度上取决于其外围护结构,尤其是装配节点处物理性能的完整性,通过创建将系统性设计、高性能材料、精密化施工与智能化运维相融合的集成化密封技术体系,能够高效地把节点由性能短板转化为可靠保障。这不仅直接促成了建筑运行能耗的下降,更保障了建筑在全寿命周期内性能的稳定性与持久性,引领节点密封技术往标准化、智能化及高性能化方向前行,是促成建筑工业化与绿色化深度交融,最终达成建筑领域“双碳”战略目标的不二法门。

参考文献

- [1] 毕建华.建筑用多功能丙烯酸酯密封材料的研究与制备[D].海南大学,2023.
- [2] 陈自闯.建筑工程施工中的装配式技术探究[J].建材发展导向,2025(8).
- [3] 孙永伟.装配式建筑预制混凝土外墙板节点连接技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(9):97-99.
- [4] 高建明.装配式混凝土建筑外墙接缝密封胶施工技术研究[J].居业,2023(9):4-6.