

装配式高层住宅超低能耗建筑节能设计探析

文 / 刘晓强 上海万科企业有限公司

摘要: 超低能耗节能建筑可以减少能源的使用,进而节约对应的能源资源。节约能源不仅有助于延长资源的使用寿命,而且有利于减少对自然资源的过度开采,从而更好地维护生态平衡。本文通过对装配式超低能耗建筑的基本概念进行论述,对超低能耗居住建筑的设计原则及设计技术开展系统性研究,有利于推动建造方式创新,提升装配式建筑发展水平,带动建材、节能、环保等相关产业发展,大力推动超低能耗建筑技术的应用。

关键词: 装配式高层住宅; 超低能耗建筑; 节能设计

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.105

前言

装配式建筑是一种以模块化、工业化生产方式构建的建筑形式,其通过提前预制和标准化设计,有助于实现更高的能源效益和较低的能源消耗。装配式建筑的节能是实现超低能耗建筑技术的关键一环,因此在建筑的设计阶段就应重视超低能耗相关的节能设计。

一、装配式超低能耗建筑的概念

装配式建筑是一种以模块化、工业化生产方式构建的建筑形式,它的核心思想是将建筑过程工程化、标准化,并在工厂中进行预制和组装,然后将已经完整的模块或构件运输到现场进行快速安装。装配式建筑将建筑分解为多个模块或构件,通过预先设计和制造,保证模块的质量和一致性。这些模块可以根据需求进行定制,提供了更大的灵活性和多样性。装配式建筑在工厂中进行预制和组装,采用标准化的生产线和工艺流程,这种生产方式可以提高生产效率和产品质量,并降低人工成本。装配式建筑的模块具有可移动性,可以进行拆卸、运输和重新组装,这使得建筑可以灵活地适应不同地点和用途的需求,并且可以在不同场地之间进行重复使用^[1]。超低能耗建筑遵循环保及节能准则,结合前沿技术与设备,旨在运营期间大幅降低能源使用量与碳排放量。

二、超低能耗建筑节能设计原则

1) 资源高效利用原则。优先采用可再生材料、节能设备和可再生能源,减少化石燃料的碳排放。考虑建筑的生命周期,使用耐久性强的材料、灵活的空间布局以适应未来变化,并注重建筑的再利用和废弃物的回收处理。2) 整体性原则。设计过程中,应全面考虑建筑与环境之间的互动关系,保证建筑地理位置、方位、形态与周边自然环境和社区环境协调一致。设计人员应充分利用自然光、风和温度等自然条件优势,合理选择建筑朝向、布局 and 外观材料,实现良好的室内外环境质量和能源效率。3) 人本原则。人本原则要求设计人员侧重创造有益于住户身心健康的室内环境。这意味着设计人员既要提供适当的热舒适度和空气质量,还要确保室内光照充足,考虑住户对住宅的感知和适应性。

三、超低能耗建筑节能设计措施

A住宅项目总建筑面积为194617.53m²,建筑高度为54m。其中:地上18层,建筑面积为136223.81m²;地下1层,建筑面积为58393.72m²。项目采用外墙保温与结构一体化措施,PC外墙采用80mm微孔绝热板(K19)普通夹心保温,现浇墙体采用现浇混凝土保温外墙系统,外保温材料采用100mm保温模板,辅助内保温根据防火要求,分别采用35mm挤塑聚苯板(XPS)/35mmFTC,楼梯间、电梯井外墙采用100mm保温模板,且外墙保温与结构一体化系统的热阻不小于组合保温系统热阻的60%,保温与结构一体化比例大于80%,各栋楼外墙平均传热系数 $\leq 0.4\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

(一) 科学选用节能材料

1. 保温材料。科学选用保温材料是实现住宅绿色建筑节能的关键措施之一,能有效降低建筑的热损失,减少能源消耗,提高能源利用效率。如选择聚苯乙烯泡沫板、岩棉板和聚氨酯泡沫等低导热系数的保温材料,能够增强墙体、屋顶和地面的绝热性能,避免热量通过围护结构散失。在选择材料时,除导热系数外,还要考虑以下几点。①材料应具有良好的耐火性能,可以使用不燃型或难燃型材料,提升建筑防火安全性,以保障建筑安全。②材料应具有理想的耐久性,减少后期维修和更换的成本和频率。③优先考虑可回收材料、生物基材料或其他环保型保温材料,降低对环境的负担。

2. 门窗材料。由于门窗和墙体的材质、结构存在差异,住户需要频繁开合门窗,导致门窗位置的热量散失相对较多^[2]。因此,在前期设计阶段,设计人员需要将节能技术应用在门窗结构的设计工作中,在保证室内采光的前提下阻止热量流失。设计门窗结构时,要综合考虑窗体大小、门窗材料等基本情况。如朝南方向的门窗面积过大时,室内的采光条件较好,但住宅建筑整体的保温性能不足,导致室内热量的流失,容易增加空调能耗。因此,设计人员在设计门窗时需要结合当地的平均温度、日照时间等科学规划门窗结构的大小,适当增加朝南方向的门窗面积,降低朝北方向的门窗结构大小,平衡采光、通风、保温等多种需求。设计门窗结构的材

质时，可以选择保温性能和强度性能较为突出的铝合金窗框材料，并使用中空玻璃材料，实现门窗结构保温、隔热、隔音的节能设计。另外，为进一步降低能耗，设计人员可在窗体、门框和墙体之间添加高密度填充材料，增强门窗结构的隔热性能。在选择门窗材料的过程中，首先应确认功能，基于功能进行特性分析，如安全性、采光等。然后进行材料选择，铝合金、五金件、玻璃等不同的材料在使用性能上也有差异，要基于建筑周围的环境条件确定规格。一般情况下，为满足保温和节能需求，可以设计为平开窗体系，并运用中空low-E玻璃，从而同时满足采光和通风需求。除此之外，住宅窗也可以运用一些铝合金为材料的中空玻璃窗。需要注意的是，在《上海市超低能耗建筑技术导则（试行）》中，明确约定了外窗（透光幕墙）传热系数要求，其约束值不得大于 $1.8\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

（二）能源密集区域设计

1. 建筑布局与朝向优化。在能源密集区域设计中，合理的建筑布局和朝向优化对于最大限度地利用自然资源具有重要意义。建筑布局应考虑到环境要素、功能需求和交通组织等因素，以便实现最佳能源效益。一种常见的做法是采用紧凑布局，即设计建筑形式以减少表面积，从而减少能量流失。此外，还可以通过合理的建筑间距和高度差，减少相互之间的影响和阻挡，提高空气流通和采光效果。朝向优化是指合理选择建筑的朝向，使其能够最大限度地利用太阳能和自然光线。对于北半球地区，建筑主要朝向应朝向南方，以最大限度地获得太阳能和自然采光。

2. 遮阳与自然光利用。在能源密集区域设计中，遮阳和自然光利用是提高建筑能效性能的重要手段。通过合理设计遮阳设施，如窗帘、百叶窗、遮阳板等，可以降低室内的日照照度和热量输入，减少空调系统的负荷。自然光的利用是超低能耗建筑设计中的另一个重要考虑因素。通过合理设置建筑的窗户和天窗，可以最大限度地引入自然光线，并减少对人工照明的依赖。

（三）智能化控制系统的设计与应用

1. 建筑自动化控制系统。建筑自动化控制系统是一种集成了传感器、执行器和控制算法等技术的系统，用于实现对建筑内部环境和设备的智能化控制。该系统可以根据室内温湿度、光照强度、人员活动等参数进行实时调整和优化，从而实现能源的高效利用和室内舒适度的提升。在超低能耗建筑中，建筑自动化控制系统的设计与应用具有重要意义。

2. 能耗监控与管理系统。能耗监控与管理系统是指通过数据采集、分析和控制手段，实现对建筑能耗情况的全面监测和管理的系统。该系统可以实时监测能源消耗和使用情况，并通过分析和优化算法，提供有针对性的节能建议和措施。在超低能耗建筑中，能耗监控与管理系统的的设计与应用具有重要意义。通过安装传感器和

仪表，实时监测供暖、制冷、照明等设备的能耗情况，以及室内环境参数^[3]。

（四）通风与采光

通风是建筑节能设计的重要手法，自然通风不仅有利于营造舒适的环境，还有利于降低建筑能耗。自然通风是一个低成本的节能冷却技术，有助于减少建筑冷负荷，改善室内舒适度。当室外温度低时，可通过通风获得室外冷空气，降低室内温度以及建筑物的结构温度，尤其是蓄热性好的建筑，夜间通风可使室内空气温度降低及温度波峰延迟。但自然通风降温受室外气候和环境条件影响大，需要因地制宜地进行利用。充分利用天然采光不但可节省大量照明用电，还能提供更为健康、高效、自然的光环境。对于大多数的建筑而言，照明能耗是电力能耗的重要部分。实际上，提供相同的照度，天然光带来的热量小于绝大多数人工光源^[3]。因此，在建筑中提高天然采光，减少电力照明是提高建筑能效的重要策略。研究表明，在最大程度没有人类行为影响的情况下，室内自然采光在20%~60%范围内即可达到节约照明能源的作用。

（五）综合能源利用

1. 光伏一体化集成系统。本项目局部采用立面光伏幕墙集成技术，其中南立面局部外墙采用仿石材纹理晶硅发电玻璃，在幕墙单元非透明部分的上、下、左、右侧均安装立面光伏板块，在不影响玻璃透光率的情况下，可以有效利用太阳能辐射能量。根据立面太阳辐射资源禀赋分析，优先在南立面的中部安装太阳能光伏组件，立面光伏有效安装面积约为 200m^2 ，安装容量为 21.6kW ，年发电量约为 $7900\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

2. PVT光伏热水一体化技术。屋面将16片发电功率为 360W 的PVT一体化组件和16片发电功率为 545W 的常规光伏组件相结合，实际光伏发电系统安装容量为 14.48kW ，年发电约为 $15700\text{kW}\cdot\text{h}$ ；同时，配置1台PVT专用空气源热泵热水机组，用于物业区域办公所需。

（六）高效机电系统

1. 高效供暖空调系统。本项目采用高效的集中式变制冷剂流量多联机空调系统，单台制冷量为 $79.49\sim 174.34\text{kW}$ ，制热量为 $71.89\sim 145.93\text{kW}$ ，多联机空调系统室外机全年性能系数（APF）为 $4.7\sim 5.7$ ，机组效率均达到一级能效标准。2. 全热交换新风系统。本项目采用独立新风系统，全热交换新风机组配置PM2.5过滤装置。新风机组制冷工况全热回收效率为66%，制热工况全热回收效率为71%。

（七）健康室内环境

1. 高品质室内空气质量控制。本项目主要采用的技术包括：供应充足的新风量，设置高效的空气净化过滤，控制室内装修污染物，进行空间规划和排风管理，设置室内空气质量监测与发布系统，等等。

2. 饮水促进和排水管理。本项目主要通过选用符合健康理念、设计良好的卫生器具、卫生设施等，可提供舒适、健康的用水条件，减少因不良卫生习惯而感染肠道和呼吸系统疾病的风险。

3. 动静分区和隔声减振。在声环境营造方面，本项目主要采用的技术包括空间声学设计、隔声控制及吸声隔振控制等。

（八）室内环境质量与舒适性提升

热环境的构建通过应用高性能隔热材料，可以极大地降低冬季室内热量的流失以及夏季外部热量的渗透。此外，引入节能设计理念，如合理利用地热能源、光伏添加装置带来的轻微温度调节，可以有效缓解传统采暖冷却系统对能源的消耗^[4]。与此同时温度自动控制系统通过精确监测实时数据，自动调整室内环境，保持温湿度舒适。提升光环境也是优化室内环境不可忽视的方面，考量窗户的布局、尺寸，可以最大化自然光进入的同时减少眩光或冷热过载的风险。配套的智能照明系统则可以根据天然照明状况实时调整室内灯光强度，实现人性化照明的同时降低能耗。声环境品质的保障需要从外噪声控制和内声环境处理两个方面着手。有效的外噪声隔离，比如采用隔音性能良好的双层隔窗和设置隔音墙体，都是提升静谧度的有效手段。在室内，考虑到回声和杂音，须巧妙设计吸音材料的布局，以创造出宜人且安静的氛围。除此之外，室内空气质量直接关系到使用者的健康。为此，安装一套先进的通风与空气过滤系统，能够确保室内空气循环流通，阻截外界污染物。

只有将上述室内环境因素完善整合，并结合使用者对舒适度的主观需求，才能在追求极致能效的同时充分满足人们对健康和舒适生活的向往，例如在上海的某一商业复合体项目中，设计师通过安装智能灯光系统和自动窗帘，根据室内外光线变化自动调节室内照明强度和窗帘开闭，提高了自然光的使用效率，优化了视觉舒适性。同时建筑中的声学设计通过使用吸音材料和隔声技术，有效控制了噪声问题。这些措施使得此建筑不仅在节能效率上达到了前沿水平，也在为用户提供高质量室内环境方面树立了新标准。这一案例展示了在设计之初就综合考虑各种环境因素对建筑舒适性和功能性的影响，是实现室内环境质量提升的有效途径。

（九）评价验收

在项目验收阶段，需要对建筑物的能耗、设备性能、舒适度等方面进行综合评估，确保超低能耗项目的目标得到实现。项目管理团队应会同顾问团队组建验收小组，并制定详细的验收方案和标准，包括对建筑能耗、设备性能、舒适度等方面的具体指标和要求，以及对项目运行和维护的考核标准。验收小组将对项目现场进行实地检查，核实施工质量和设备安装情况，并开展各项测试，如能耗测试、设备性能测试、室内环境测

试等，确保项目符合验收标准。通过收集和分析运行数据，评估项目的实际能耗与设计目标之间的差距。同时，检查项目的运行和维护计划，确保超低能耗设施能够长期有效运行。

四、装配式超低能耗建筑主要问题及应对方案

（一）热桥部位保温缺失

施工过程中发现热桥部位的保温缺失应及时进行后补保温的措施，后补保温时应充分考虑现场施工情况并应符合相关规范和规定，确保后补的保温材料热工性能以及安全性能满足项目的应用要求。

（二）保温墙板拼缝漏浆

对于夹心保温墙板拼缝处被灌浆料填充或被封浆料封堵、竖向拼缝在混凝土浇筑过程中被混凝土填充等的问题，应将拼缝处的混凝土或灌浆料切除后，利用pe棒填塞后进行涂抹防水密封胶等施工工序。保温模板拼缝处若产生漏浆现象，则应裁切部分拼缝处的保温模板，补充聚氨酯发泡保温。

（三）保温板连接件问题

当保温模板连接件布置数量、位置不符合要求时，住建、财政等部门加强沟通协调，联合制定城市更新工作导则、城市更新技术导则等技术标准，指导城市更新活动及监督管理。如在因地制宜探索容积率转移、用途转换、开发权转移、存量空间融资等关键制度创新，研究制定技术标准、规范引导，明确统一的审批流程，构建专业高效的城市更新实施机制^[5]。

结语

装配式超低能耗建筑节能设计是建筑行业迈向可持续发展的重要举措。通过不断推动技术创新和经验积累，可以实现更高水平的节能建筑设计和实施，为社会提供更加环保、健康、舒适的建筑环境。在未来，要继续关注装配式超低能耗建筑节能设计的发展和应用，积极推动技术进步和政策支持，以促进建筑行业向更加可持续和高效的方向发展。

参考文献

- [1] 李叶竹影, 陈湛. 基于能耗模拟的夏热冬冷地区乡村装配式住宅节能设计案例研究[J]. 绿色建筑, 2023, 15(01): 36-39+44.
- [2] 袁医娜. 基于BIM的湖南新农村装配式住宅保温节能设计策略研究[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(07): 148-150.
- [3] 吕君毅. 农村装配式住宅节能设计多目标优化研究[D]. 北方工业大学, 2022.
- [4] 魏璐畅. 湖南地区装配式农宅围护结构节能设计研究[D]. 湖南大学, 2022.
- [5] 王艳, 张伟捷, 李芳德, 等. 京津冀地区农村装配式节能住宅建筑研究[J]. 新型建筑材料, 2021, 48(07): 23-29.