

被动式建筑创新及应用

周彤伟

河北冀科工程项目管理有限公司 河北 石家庄 050000

摘要: 本文围绕被动式建筑的创新与应用展开, 阐述其通过高效围护结构、良好气密性和自然能源利用维持室内舒适热环境的原理。介绍了外围护结构节能、门窗节能等创新技术, 分析其低能耗、舒适健康、环保可持续的特点优势。结合应用实践, 表明被动式建筑在能耗降低、环境改善和经济回报上效果显著, 为建筑节能与可持续发展提供重要路径。

关键词: 被动式建筑; 建筑节能; 创新技术; 应用实践

1 被动式建筑的基本原理

1.1 被动式建筑的定义

被动式建筑是一种通过高效的建筑围护结构、良好的建筑气密性以及自然能源的充分利用, 在几乎不依赖主动机械采暖和制冷系统的情况下, 就能维持室内舒适热环境的建筑。它起源于20世纪90年代的德国, 是建筑节能理念与技术发展的产物, 旨在最大限度降低建筑能耗, 减少对传统化石能源的依赖, 同时为使用者提供健康、舒适的室内环境。被动式建筑核心理念在于“被动优先”, 即优先利用自然条件和建筑自身构造来调节室内环境, 而非依赖高耗能的主动设备。这要求建筑在设计阶段, 就综合考虑地理位置、气候条件、建筑朝向、体型系数等因素, 通过优化设计和选用高性能材料, 实现建筑与自然环境的和谐共生。从建筑全生命周期来看, 被动式建筑不仅在使用阶段大幅降低能耗, 在建造和拆除阶段也遵循可持续发展原则, 尽量减少对环境的影响。

1.2 被动式建筑的关键要素

1.2.1 自然能源的最大化利用

自然能源的利用是被动式建筑的核心要素之一。其中, 太阳能的利用尤为重要。建筑通过合理的朝向设计, 使南向立面能够在冬季最大限度地接收太阳辐射热, 将太阳能转化为室内的热能^[1]。例如, 在北半球, 建筑南向开窗面积会适当增大, 同时采用低辐射镀膜玻璃(Low-E玻璃), 这种玻璃能够允许太阳短波辐射进入室内, 而阻挡室内长波辐射向外散失, 从而有效利用太阳能提升室内温度。建筑还可以利用自然通风来调节室内空气和温度。根据季节和天气变化, 通过可开启的门窗、通风口等, 引入室外新鲜空气, 排出室内污浊空气和多余热量。在夏季, 利用热压通风和风压通风原理, 促进空气流动, 带走室内热量, 降低室内温度, 减少空

调使用频率。

1.2.2 高性能的建筑围护结构

高性能的建筑围护结构是被动式建筑实现低能耗的关键。墙体、屋面、地面等围护结构需要具备极高的保温隔热性能。通常采用高效保温材料, 如岩棉、聚氨酯泡沫等, 将建筑包裹起来, 形成一个连续的保温层, 减少热量传递。建筑的气密性也至关重要。良好的气密性能够防止室外冷热空气通过缝隙渗透进入室内, 减少能量损失。施工过程中, 会对门窗框与墙体之间、管道穿墙处等部位进行严格的密封处理, 使用密封胶、密封条等材料, 确保建筑的气密性达到高标准要求。

1.2.3 合理的建筑布局与开口设计

合理的建筑布局与开口设计对被动式建筑的性能有着重要影响。建筑的朝向应根据当地气候条件进行优化, 在寒冷地区, 尽量使建筑主要房间朝向南向, 以获取更多的太阳辐射热; 在炎热地区, 则要避免过多的东西向开窗, 减少太阳直射带来的热量。建筑的体型系数也需要控制在较小范围内, 体型系数是指建筑物外表面积与建筑体积之比, 较小的体型系数意味着建筑的散热面积相对较小, 能够降低热量散失。门窗的开口位置、大小和开启方式也经过精心设计。门窗的位置要有利于自然通风的组织, 大小要兼顾采光和隔热需求, 开启方式要便于调节通风量和控制气流方向。

2 被动式建筑的主要特点与优势

2.1 低能耗、高能效

被动式建筑最显著的特点之一就是低能耗、高能效。与传统建筑相比, 被动式建筑在采暖和制冷方面的能耗大幅降低。研究数据显示, 被动式建筑的采暖能耗可降低90%以上, 制冷能耗也能降低70%-80%。这主要得益于其高效的围护结构和对自然能源的充分利用。通过减少热量的传递和散失, 以及合理利用太阳能、自然

通风等，被动式建筑能够在维持室内舒适温度的同时，极大地减少对传统能源的消耗^[2]。以一栋1000平方米的办公建筑为例，采用被动式建筑技术后，每年可节约采暖和制冷费用数十万元，长期来看，能源成本的降低非常可观。这种高能效不仅体现在能源消耗的减少上，还体现在能源利用效率的提升，使有限的能源能够发挥更大的作用。

2.2 室内环境舒适、健康

被动式建筑能够为使用者提供舒适、健康的室内环境。由于其良好的保温隔热性能和气密性，室内温度波动较小，能够始终保持在人体舒适的温度范围内（通常为18-26℃）。同时，高效的通风系统能够保证室内空气的新鲜度和品质。被动式建筑一般采用带有热回收功能的新风系统，在引入室外新鲜空气的同时，回收排出室内污浊空气中的热量或冷量，避免因通风导致的能量损失。新风系统还可以过滤空气中的灰尘、花粉、有害气体等污染物，有效改善室内空气质量，减少使用者因空气污染引发的呼吸道疾病等健康问题。合理的采光设计使室内光线充足且均匀，减少人工照明的使用，也有助于提升使用者的舒适度和工作效率。

2.3 环保、可持续

被动式建筑在环保和可持续发展方面具有突出优势。由于其低能耗的特点，大大减少了建筑运行过程中二氧化碳等温室气体的排放，对缓解全球气候变暖具有积极作用。以一个住宅小区为例，采用被动式建筑技术后，每年可减少数千吨的二氧化碳排放量。被动式建筑在材料选择和施工过程中，也注重环保和可持续性。优先选用可再生、可循环利用的建筑材料，减少对自然资源的消耗。在建筑拆除阶段，这些材料也更容易回收和再利用，降低建筑垃圾对环境的污染。被动式建筑的长使用寿命和低维护成本，也符合可持续发展的理念，能够减少资源的浪费，为子孙后代留下宝贵的资源和良好的生态环境。

3 被动式建筑的创新技术

3.1 外围护结构节能技术

外围护结构节能技术是被动式建筑的重要支撑。除了采用高效保温材料外，新型的围护结构构造不断涌现。例如，真空绝热板（VIP）具有极高的保温性能，其导热系数比传统保温材料低很多，能够在较薄的厚度下达到更好的保温效果，适用于空间有限但对保温要求高的部位。还有相变材料在围护结构中的应用，相变材料能够在温度变化时吸收或释放潜热，调节室内温度波动。当室内温度升高时，相变材料吸收热量并发生相

变；当室内温度降低时，又释放热量，使室内温度保持相对稳定。智能围护结构技术也逐渐应用于被动式建筑，通过传感器实时监测环境温度、湿度等参数，自动调节围护结构的性能，如改变遮阳装置的角度、调节透光材料的透光率等，实现更精准的节能控制。

3.2 门窗节能技术

门窗是建筑围护结构的薄弱环节，也是热量传递和空气渗透的主要部位，因此门窗节能技术至关重要。在被动式建筑中，通常采用高性能的门窗产品。例如，三层中空玻璃门窗搭配暖边间隔条，能够有效降低门窗的传热系数。三层中空玻璃比双层玻璃具有更好的保温隔热性能，中间的空气层或惰性气体层能够阻止热量的传导和对流。暖边间隔条则可以减少玻璃边缘的热量散失，进一步提升门窗的保温性能，门窗的密封性能也得到极大提升，采用多道密封胶条和性能的密封胶，确保门窗关闭时的气密性。同时智能门窗技术也在不断发展，如电动百叶窗、智能调光玻璃等，能够根据太阳辐射强度和室内采光需求自动调节，实现遮阳和采光的最佳平衡，降低能耗。

3.3 自然通风与遮阳技术

自然通风与遮阳技术是被动式建筑实现舒适室内环境和节能的重要手段。在自然通风方面，除了传统的可开启门窗外，还发展出了多种新型通风装置。例如，呼吸式幕墙，它由内外两层玻璃幕墙组成，中间形成通风腔，通过上下通风口的气流流动，实现空气的自然交换，同时起到隔热和降噪的作用^[3]。在遮阳技术方面，有多种形式可供选择，如水平遮阳、垂直遮阳、综合遮阳等。这些遮阳装置可以根据建筑朝向和太阳高度角进行设计，有效阻挡太阳直射辐射。可调节遮阳系统得到广泛应用，如电动遮阳帘、百叶窗等，能够根据时间、天气和使用者需求自动或手动调节遮阳角度，在保证采光的同时，减少太阳辐射得热，降低空调负荷。

3.4 太阳能利用技术

太阳能利用技术在被动式建筑中发挥着重要作用。太阳能热水系统是最常见的应用形式，通过集热器将太阳能转化为热能，为建筑提供生活热水。在被动式建筑中，太阳能热水系统通常与建筑一体化设计，使集热器与建筑外观完美融合，不影响建筑美观。太阳能光伏发电技术也逐渐应用于被动式建筑。通过在屋顶、墙面等部位安装太阳能光伏板，将太阳能转化为电能，为建筑提供部分电力需求，如照明、通风设备等。多余的电能还可以并入电网，获取收益。太阳能光热-光伏一体化系统更是将太阳能热水和光伏发电相结合，提高太阳能的

综合利用效率,进一步降低建筑对传统能源的依赖。

3.5 室内环境质量保障技术

为了保障被动式建筑的室内环境质量,多种前沿技术协同应用其中。除了带有热回收功能的新风系统,室内空气质量监测与控制系统同样发挥着关键作用。该系统借助高精度传感器,实时监测室内二氧化碳浓度、甲醛浓度、PM2.5浓度等核心指标,一旦污染物浓度超过预设阈值,系统便会自动触发智能算法,精准调节新风系统的风量,及时引入大量新鲜空气,快速稀释室内污染物,确保空气质量始终达标。在温湿度调控方面,智能温控设备与加湿器、除湿器深度融合。通过物联网技术,这些设备与室内环境监测系统相连,可依据季节变化、使用者的个性化需求,自动调节温湿度。在干燥的冬季,加湿器适时启动,提升空气湿度;炎热潮湿的夏季,除湿器则能有效降低湿度,结合空调精准控温,营造出四季如春的舒适环境。噪声控制技术也备受关注,通过采用新型隔音材料,如多层复合吸音板、阻尼隔音毡等,配合优化建筑构造,在墙体、门窗等部位进行精细化处理,极大地降低外界交通、施工等噪声对室内环境的干扰,为居住者和办公人员打造静谧的空间,全方位提升室内环境品质。

4 被动式建筑的应用实践效果分析

4.1 能耗降低幅度与节能减排效益

在实际应用中,被动式建筑的能耗降低幅度十分显著。许多已建成的被动式建筑项目数据显示,采暖能耗通常仅为传统建筑的10%-15%,制冷能耗也远低于传统建筑。以某被动式住宅小区为例,经过一年的运行监测,该小区的采暖能耗仅为 $10\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,而当地同类传统住宅小区的采暖能耗约为 $60\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,节能率高达83%。在节能减排效益方面,由于能耗的大幅降低,相应的二氧化碳、二氧化硫等污染物排放也显著减少。按照上述小区的能耗数据计算,每年可减少二氧化碳排放量数千吨,对改善区域环境质量、应对气候变化具有重要意义。被动式建筑还能减少对煤炭、天然气等传统能源的消耗,缓解能源供应压力,保障国家能源安全。

4.2 室内环境质量改善情况

被动式建筑在室内环境质量改善方面取得了良好效果。室内温度稳定性得到极大提升,无论是寒冷的冬季

还是炎热的夏季,室内温度都能保持在舒适范围内,温度波动较小。据实际监测,被动式建筑室内温度日波动范围一般不超过 3°C ,而传统建筑可能达到 $5\text{-}8^{\circ}\text{C}$ 。在空气质量方面,带有热回收功能的新风系统有效保证了室内空气的新鲜度和清洁度^[4]。室内二氧化碳浓度始终维持在较低水平,一般不超过800ppm,远低于传统建筑中可能出现的1000-1500ppm的情况。同时,空气中的PM2.5、甲醛等污染物浓度也明显降低,为居民提供了健康的居住环境。良好的采光和隔音效果也提升了室内环境的舒适度,居民的生活质量得到显著提高。

4.3 经济性分析

从经济性角度来看,被动式建筑虽然在建设初期的投资成本相对较高,一般比传统建筑高出10%-20%,主要原因在于高性能材料和设备的使用。但从长期来看,其运行成本的降低和节能效益的显现,使其具有较好的经济性。以一个商业建筑项目为例,假设被动式建筑比传统建筑多投资100万元,由于每年采暖和制冷费用可节约15万元,加上减少的设备维护费用等,投资回收期约为7-8年。在运行成本方面,被动式建筑的能耗费用大幅降低,随着能源价格的不断上涨,这种优势将更加明显。另外,被动式建筑由于其良好的性能和舒适的环境,在房地产市场上具有更高的附加值,能够提升建筑的市场竞争力和销售价格,进一步增加其经济效益。

结束语

被动式建筑凭借创新技术与显著优势,在建筑领域展现强大生命力,对节能减排和人居环境改善意义重大。随着技术进步与成本降低,其应用前景广阔。未来,需进一步加强技术研发、优化设计施工,推动被动式建筑在更多领域普及,助力实现建筑行业绿色低碳转型与可持续发展目标。

参考文献

- [1]唐鹏.被动式建筑节能设计技术策略研究[J].居舍,2022(09):118-120.
- [2]孙少楠,吴家伟.基于BIM技术的被动式建筑节能因子多目标优化研究[J].图学学报,2021,42(01):124-132.
- [3]高重兴.被动式超低能耗绿色建筑外墙保温系统施工研究[J].陶瓷,2023,8:76-78+132.
- [4]陈章龙.被动式超低能耗建筑施工技术探讨[J].四川建材,2024,8:45-47.