

被动式建筑设计与技术研究

刘立锋

河北冀科工程项目管理有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：被动式建筑设计与技术研究聚焦于通过建筑自身设计优化，最大限度地利用自然资源和环境条件，减少对外部能源系统的依赖。本文综述了被动式建筑在保温隔热、自然通风、太阳能利用及高效热回收等方面的关键技术，并通过实践案例分析，展示这些技术在提升建筑能效、改善室内环境及促进可持续发展方面的显著成效。研究强调被动式建筑设计的综合性和创新性，为绿色建筑领域的发展提供重要的理论与实践指导。

关键词：被动式；建筑设计；技术研究

1 被动式建筑的概述

被动式建筑是一种依靠建筑本身的构造设计来达到舒适室内温度的节能建筑。它不需要单独安装供暖或降温设施，即不需要“主动”提供能量，就能满足冬暖夏凉的要求。这种建筑形式通过高效的保温隔热性能和气密性能，以及采用高效新风热回收技术，最大程度地降低建筑的供暖供冷需求，并充分利用可再生能源，以更少的能源消耗提供舒适的室内环境。被动式建筑具有低能耗、高舒适度和经济性等优点，有数据显示，被动式建筑所需的单位平方米采暖和制冷能耗与传统建筑相比，节能高达90%，与普通新建建筑相比，节能超过75%以上。这种建筑形式在全球范围内得到了广泛认可和推广，特别是在德国等国家，被动式建筑已经成为一种主流的节能建筑技术。被动式建筑的实现主要依赖于建筑的空间形式、建筑材料和结构设计。被动式建筑还具有优越的性价比，虽然初期建设成本可能较高，但由于其低能耗的特点，长期来看能够节省大量的能源费用，从而降低了建筑的运营成本。

2 被动式建筑的关键要素

被动式建筑作为当前国际公认的节能建筑形式，以其卓越的能效和环保特性，正逐步成为全球建筑发展的主流趋势。它通过一系列精密的设计和技术手段，实现了在不依赖主动能源供应的情况下，依然能提供舒适室内环境的目标。

2.1 高品质保温材料与构造技术

被动式建筑的核心在于其出色的保温性能，这主要得益于高品质保温材料的应用以及先进的构造技术。高品质的保温材料，如聚氨酯、聚苯板、岩棉板以及HVIP气凝胶真空绝热板等，以其卓越的隔热性能，成为被动式建筑不可或缺的关键元素^[1]。聚氨酯作为单一有机保温材料中性能最优的一种，以其良好的整体性和防水

性，在屋面保温和防水、地下室墙体覆土内的保温防水等方面展现出独特的优势。硬泡聚氨酯板，作为聚氨酯的衍生产品，其夹心结构使得保温层泡孔细腻、密度均匀，强度及隔热性能可靠。聚苯板，包括挤塑聚苯板和石墨聚苯板，以其卓越的隔热保温、抗水防潮、经久耐用等特点，广泛应用于建筑外墙和屋顶的保温系统。石墨聚苯板更是在防火性能和保温性能上实现了双重提升，成为被动式建筑首选的保温材料之一。岩棉板，作为一种无机纤维板，以其质量轻、导热系数小、不燃的特点，成为高层建筑防火要求较高的建筑部位的首选保温材料。尽管在国内夏热冬冷地区，由于梅雨季节降雨量大、空气湿度大，岩棉板保温系统可能会受潮而降低保温性能，但在北方少雨地区，岩棉板仍是一种理想的防火性能较好的外保温应用材料。HVIP气凝胶真空绝热板，则以其超低的导热系数和卓越的防火性能，成为被动式建筑保温材料中的佼佼者。其厚度仅为传统保温材料四分之一到八分之一，单位面积质量轻，施工方便，可直接粘贴无需锚固，使用寿命长，是冶金、化工、国防、航空航天等领域不可或缺的高效隔热保温材料。在构造技术方面，被动式建筑采用连续的保温系统，将保温材料包裹整个建筑，包括屋顶、墙体、底板或地下室顶板。通过避免热桥的措施，如由阳台形成的突出混凝土板，窗户应安装在保温层内，地下室保温层选择既能承重又能保温的材料，尽可能使保温层以均匀的保温效果围绕整个建筑。

2.2 高效隔热与气密性设计

被动式建筑的另一个关键要素是其高效隔热与气密性设计。高效的隔热性能不仅依赖于高品质的保温材料，还需要通过精心的建筑设计和施工来实现。在被动式建筑中，墙体、屋顶和门窗等外围护结构均采用了高效的隔热材料和技术，以减少热量的传递和损失。气密

性设计则是被动式建筑保持室内温度稳定、减少能耗的重要手段。被动式建筑通过采用气密的外围护结构,避免了冷热气体对流造成的热量流失。在气密外围护完成后,通常采用“鼓风门测试”来测量气密性,以确保建筑的密封性能达到设计要求。在门窗设计方面,被动式建筑采用了高品质的被动式门窗系统,使用低辐射(Low-E)玻璃并充填惰性气体,以降低传热系数和太阳得热系数。通过采用三玻窗或双玻窗等结构,以及带遮阳的窗框设计,进一步提高了门窗的隔热性能和气密性。

2.3 无热桥与热能回收技术

无热桥设计是被动式建筑保持高效隔热性能的关键。热桥是指建筑中热量传递的捷径,如金属窗框、阳台板等,它们会破坏建筑的保温层,导致热量损失。在被动式建筑中,通过采用断桥窗框、避免金属构件直接接触保温层等措施,有效避免了热桥的产生。热能回收技术则是被动式建筑实现节能的重要手段之一,被动式建筑通过采用新风系统主动通风提供高质量的空气,同时选用新风除湿全热回收设备,热回收率达到75%以上。这些设备能够回收排出室外空气中的热量或冷量,用于预热或预冷进入室内的新风,从而减少了建筑对主动能源的依赖。被动式建筑还充分利用太阳能及地源热作为暖通空调和生活热水的主要能源,地源热泵利用浅层地热能,通过输入少量高品位能源实现由低品位热能向高品位热能转移,比燃油锅炉采暖节能50%,比电采暖节能70%。新型太阳能冷暖空调则利用太阳能和可再生的生物质燃料制热,制冷时则借助少量的电能利用地源低温,采用超导能量输送系统直接制冷,达到了最合理的节能制冷效果^[2]。

3 被动式建筑的关键技术研究

被动式建筑作为当代绿色建筑的前沿代表,通过一系列创新技术,实现了能源效率的最大化与环境影响的最小化。其核心在于通过建筑自身的设计和材料选择,减少对外部能源系统的依赖,从而提供健康、舒适的室内环境。

3.1 保温隔热技术研究

保温隔热技术是被动式建筑的基础,直接关系到建筑的能效与室内环境的稳定性。被动式建筑广泛采用高性能保温材料,如聚氨酯泡沫、石墨聚苯板、岩棉、气凝胶等,这些材料具有极低的导热系数和优异的防水防潮性能。其中,气凝胶作为新一代超级隔热材料,其纳米级孔隙结构几乎完全阻止了热量的传导和对流,为被动式建筑提供了前所未有的保温性能。保温材料的性能虽关键,但构造设计的合理性同样不容忽视。被动式

建筑通过连续无间断的保温层设计,确保热量难以穿透建筑外壳。门窗等开口部位也采用断桥隔热技术,减少热量通过金属框架的传导。热桥是热量传递的捷径,常出现在建筑构件的连接处,如金属窗框、阳台板等。被动式建筑通过精确计算并采取措施,如使用保温断桥技术、热桥阻断材料等,最大限度减少热桥效应,确保保温系统的完整性。

3.2 自然通风技术研究

自然通风是被动式建筑实现舒适室内环境的重要策略,它通过建筑的布局、开口设计以及风压和热压效应,促进室内外空气的自然流动。被动式建筑的布局通常考虑当地气候特点,利用风向和太阳方位优化建筑朝向和开口位置。通过可调节的百叶窗、遮阳板等设计,进一步控制进入室内的光线和热量。被动式建筑利用风压和热压效应促进自然通风。风压通风依赖于室外风速形成的压力差,通过合理布局开口,使空气在建筑内外形成有效流通。热压通风则利用热空气上升的原理,通过设计高侧窗或烟囱效应,将室内热空气排出,同时吸入新鲜空气。结合现代传感技术和控制系统,被动式建筑还引入了智能通风系统,根据室内外环境条件自动调节通风速率,确保室内空气质量的同时,最大化能源效率。

3.3 太阳能利用技术研究

太阳能是被动式建筑中最直接、最丰富的可再生能源之一,其利用技术主要包括被动式太阳能集热和主动式太阳能系统。通过建筑的布局和构造设计,被动式建筑能够最大化地收集和储存太阳能。通过设置蓄热墙体或屋顶,将吸收的太阳能转化为热能,用于冬季供暖。虽然被动式建筑强调被动设计,但在某些情况下,结合主动式太阳能系统可以进一步提升能效。这包括太阳能光伏板用于发电、太阳能热水器用于生活热水供应等。这些系统通常与建筑的集成设计相结合,既美观又高效。

3.4 高效热回收技术研究

热回收技术是被动式建筑实现能源高效循环利用的关键,它通过将排出室外的热量或冷量回收再利用,显著降低建筑能耗。被动式建筑通常采用带有热回收功能的新风系统,利用热交换器回收排出室外空气中的热量或冷量,用于预热或预冷进入室内的新风。这种系统不仅能提供高质量的空气,还能显著降低能源消耗。地源热泵是一种高效的热回收技术,它利用地下浅层地热资源进行供暖和制冷。通过地下埋设的管道系统,地源热泵能够在冬季提取地热用于供暖,夏季则将室内热量排入地下进行制冷,实现能量的循环利用^[1]。在一些先进的被动式建筑中,还采用了废水热能回收技术。通过收集

和利用来自淋浴、洗涤等活动的废水中的热能，为建筑提供额外的供暖或热水供应，进一步提高了能源效率。

4 被动式建筑设计的实践案例分析

4.1 案例一

该生态办公楼位于城市中心区域，周边环境优美，但面临城市热岛效应和空气污染的挑战。为了满足企业对高效、环保办公空间的需求，同时响应国家绿色建筑的政策导向，项目团队决定采用被动式建筑设计理念，打造一座集节能、环保、舒适于一体的现代化办公楼。

(1) 设计理念：设计理念以“绿色生态、自然和谐”为核心，旨在通过被动式设计策略，最大限度地减少建筑对外部能源的依赖，同时提供健康、舒适的办公环境。设计团队注重与周围环境的融合，充分利用自然光、自然通风等可再生资源，减少建筑对环境的影响。(2) 设计策略：办公楼采用开放式平面布局，结合高侧窗和可调节的百叶窗设计，利用风压和热压效应实现自然通风，有效降低空调能耗。建筑外墙采用高性能保温材料，如岩棉板和气凝胶，形成连续的保温层，减少热量的传递。屋顶设置绿化层，既美化环境又提高保温隔热性能。通过合理布局大面积玻璃窗，结合光导管和反射板技术，最大化地利用自然光照明，减少照明能耗。在墙体和地板中设置隔音层，采用双层中空玻璃窗，有效隔绝外部噪音，创造安静的办公环境。在窗户外部设置可调节的遮阳板，根据季节和天气变化调整角度，既防止了夏季过热又保证了冬季采光。建筑屋顶设置雨水收集系统，收集的雨水经过过滤后用于景观灌溉和卫生间冲洗，实现水资源的循环利用。(3) 设计效果和经验教训：该生态办公楼自投入使用以来，取得显著的节能效果，相比传统办公楼，能耗降低了约30%。室内环境质量也得到显著提升，员工满意度高。在设计过程中也遇到了一些挑战，如何平衡自然通风与室内空气质量、如何确保保温性能与建筑外观的协调等。这些经验教训为后续被动式建筑设计提供了宝贵的参考。

4.2 案例二

该住宅建筑位于城市郊区，周边自然环境良好，但冬季寒冷，夏季炎热。为了满足居民对舒适、节能住宅的需求，项目团队决定采用被动式节能设计理念，打造

一座低碳、环保的住宅建筑。第一、设计理念：设计理念以“舒适宜居、节能环保”为核心，注重通过被动式设计策略，提高建筑的能效和居住舒适度。设计团队充分考虑当地气候特点，结合建筑朝向、体型、材料等因素，制定了详细的设计方案^[4]。第二、设计策略：建筑外墙采用高性能保温材料，如聚氨酯泡沫和石墨聚苯板，形成连续的保温层，有效减少热量的传递。屋顶和地面也进行了保温处理，提高建筑的保温性能。通过合理布局建筑开口和设置可调节的窗户，利用风压和热压效应实现自然通风，减少了空调的使用。结合建筑朝向和当地日照特点，合理设置窗户大小和位置，最大化地利用自然光照明。在窗户外部设置可调节的遮阳装置，防止夏季过热。建筑屋顶设置雨水收集系统，收集的雨水经过处理后用于景观灌溉和卫生间冲洗，实现了水资源的节约和循环利用。第三、设计效果：该住宅建筑自投入使用以来，取得良好的节能效果，相比传统住宅建筑，能耗降低了约25%。室内环境质量也得到显著提升，居民满意度高。通过被动式节能设计实践，不仅提高建筑的能效和居住舒适度，还促进绿色建筑理念的普及和推广。

结束语

综上所述，被动式建筑设计与技术研究的深入，不仅推动了绿色建筑领域的技术革新，也为实现节能减排、促进生态文明建设提供了重要途径。未来，随着科技的不断进步和人们环保意识的日益增强，被动式建筑将更加广泛地应用于各类建筑中，成为推动建筑行业绿色转型的重要力量。我们期待通过持续的研究与实践，共同构建更加宜居、可持续的城市环境。

参考文献

- [1]周强.建筑节能设计的被动式策略探析[J].建筑技术开发,2021,38(12):27-29.
- [2]张蕾.王思敏.被动式建筑技术在我国北方地区的应用研究[J].现代城市研究,2020,36(4):112-115.
- [3]黄建国.生命周期评估方法在绿色建筑中的应用[J].建筑经济,2023,44(5):68-72.
- [4]曹建南,徐春亚,袁继炎.建筑学中绿色建筑设计的发展趋势分析[J].智能建筑与智慧城市,2021(10):120-121.