

集热器与建筑幕墙融合的机械设计及其能效评估

文 / 王 伟 山东宏力天扬环保科技有限公司

摘要: 随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的增强,太阳能作为一种清洁、可再生的能源,在建筑领域的应用日益广泛。本文将探讨集热器与建筑幕墙融合的机械设计及其能效评估,旨在实现太阳能的有效利用与建筑能耗的降低。通过分析集热器与幕墙的融合设计原理、结构特点、能效评估方法以及实际应用案例,本文旨在为太阳能与建筑一体化技术的发展提供参考。

关键词: 集热器; 建筑幕墙; 机械设计; 能效评估; 太阳能利用

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.106

引言

建筑能耗占全球总能耗的很大比例,而太阳能作为一种清洁、可再生的能源,在建筑领域的应用具有巨大的潜力。将集热器与建筑幕墙相融合,不仅可以实现太阳能的有效收集和利用,还可以降低建筑能耗,提高建筑的能效水平。因此,集热器与建筑幕墙融合的机械设计及其能效评估成为当前研究的热点。

一、集热器与建筑幕墙融合的设计原理

集热器与建筑幕墙的融合设计,主要是将集热器作为幕墙的一部分,通过特定的机械设计,使其既能满足幕墙的装饰和围护功能,又能实现太阳能的收集和利用。设计过程中,需要考虑集热器的布局、结构强度、热效率以及与幕墙的协调性等因素。

(一) 集热器布局

在集热器与幕墙的融合设计中,集热器的布局至关重要的一环。设计师需根据建筑幕墙的具体情况和建筑的整体风格,精心规划集热器的位置和数量。既要确保集热器能够获得足够的阳光照射,有效收集太阳能,又要避免对建筑外观和视野造成不必要的遮挡或破坏。此外,集热器的布局还需考虑太阳能的辐射方向和强度,通过科学计算和优化设计,实现集热效果的最大化。

(二) 结构强度

集热器与幕墙的融合设计对结构强度和稳定性提出了更高要求。在设计中,必须充分考虑集热器的重量、风荷载、雪荷载等外部因素,确保集热器与幕墙的连接安全可靠。通过采用先进的连接技术和材料,如高强度螺栓、耐腐蚀合金等,提高整体结构的承载能力,确保在极端天气条件下也能保持稳定。

(三) 热效率

热效率是衡量集热器性能的关键指标。在融合设计中,设计师需通过优化集热器的结构,提高其对太阳能的吸收和转化效率。这包括采用高效的吸热材料、优化集热器的表面涂层、改进热传导路径等。同时,还需考虑集热器与幕墙之间的热传递关系,通过合理的隔热设

计和热桥处理,减少热损失,提高整体系统的热效率。

(四) 协调性

集热器与幕墙的融合设计不仅关注功能和效率,还注重美学和整体性的协调。设计师需确保集热器的外观与幕墙的整体风格相协调,通过巧妙的造型设计和色彩搭配,使集热器成为幕墙的一部分,而非突兀的附加物。这不仅提升了建筑的美观性,还增强了建筑的整体性和统一性。

二、集热器与建筑幕墙融合的结构特点

(一) 模块化设计

模块化设计是集热器与建筑幕墙融合的一大亮点。通过将集热器巧妙地分割为若干个独立且可自由组合的模块单元。不仅保持了集热器的基本功能,还具备了前所未有的安装便捷性和维护简易性。通过模块化设计,施工人员在安装过程中无须面对复杂的整体结构,而是可以像拼图一样,轻松地将各个模块组装在一起。这不仅显著降低了施工难度,减少了安装时间,还有效控制了施工成本。同时,模块化设计还使得集热器的维护变得更加简单快捷,一旦某个模块出现故障,只需将其单独拆下进行维修或更换,无须影响整个系统的运行。更重要的是,模块化设计赋予了集热器布局上的极大灵活性。无论是高耸入云的摩天大楼,还是低矮亲切的居民住宅,都可以根据具体的建筑形态、光照条件以及太阳能利用需求,灵活调整集热器的数量和位置。这种灵活性不仅有助于最大化地收集太阳能,提高能源利用效率,还使得集热器能够更好地与建筑外观相融合,实现美观与实用的双重提升。

(二) 轻量化材料

在集热器的制造过程中,轻量化材料如铝合金、不锈钢等得到了广泛应用。铝合金与不锈钢等高性能轻量化材料,因其独特的物理和化学特性,在集热器制造领域得到了广泛的认可与应用。铝合金以其轻质高强、易于加工成型的特点,成为集热器制造中的首选材料之一。它不仅能够有效减轻集热器的整体重量,降低对建筑结构的额外负担,还展现出了卓越的抗腐蚀性和耐候

性，确保了集热器在户外恶劣环境下的长期稳定运行。此外，铝合金的导热性能优良，有助于提升集热器的热效率，进一步增强了其太阳能转化能力。不锈钢作为另一种重要的轻量化材料，同样在集热器制造中发挥着不可替代的作用。它以其高强度、高韧性以及出色的耐腐蚀性，确保了集热器在各种复杂环境中的可靠使用。不锈钢材料不仅具有良好的热稳定性，能够抵御高温和低温的交替作用，还易于清洁和维护，延长了集热器的使用寿命。

轻量化材料的应用不仅带来了集热器性能上的提升，还显著降低了制造成本。铝合金和不锈钢等材料的市场供应充足，价格相对稳定，使得集热器的生产成本得到有效控制。这不仅提高了产品的市场竞争力，还使得太阳能集热技术更加经济实用，为太阳能的广泛应用奠定了坚实的基础。

（三）高效热传导结构

集热器内部的高效热传导结构是其实现高效太阳能转化的关键。通过精密的设计与布局，巧妙地融合了热管、翅片等高效传热元件，旨在最大限度地捕捉并利用太阳能，同时最小化热损失，从而实现集热器整体性能的最优化。热管作为高效热传导结构的核心组件，利用其独特的相变传热原理，能够在无外加动力的情况下，实现热量的高效、远距离传输。通过巧妙地将热管嵌入集热器内部，可以迅速将吸收的太阳能转化为热能，并高效地传递至热利用端，有效提升了集热器的热转换效率。翅片结构则通过增加热交换面积的方式，进一步提升了集热器的传热性能。翅片的精心设计与布置，使得集热器内部能够形成更为复杂的热流传导路径，从而更加充分地利用吸收的太阳能，减少热能的无效散失。高效热传导结构的设计并非孤立存在，而是充分考虑了环境因素对集热器性能的影响。例如，针对风速、温度等环境参数的波动，设计者通过精细的计算与模拟，对热传导结构进行了相应的优化调整，以确保集热器在各种工况下都能保持高效、稳定的运行状态。这种综合考虑环境因素的设计理念，不仅提升了集热器的适应性，还进一步增强了其在实际应用中的可靠性。

（四）智能控制系统

集热器与建筑幕墙的融合设计还融入了智能控制系统的理念。这一先进的控制系统，基于先进的传感器技术和算法逻辑，能够实时感知并响应太阳辐射强度、环境温度等关键参数的变化，从而实现对集热器工作状态的智能调节。

智能控制系统的核心功能在于，它能够根据外部环境条件的变化，自动调整集热器的运行策略，以达到能效的最大化。例如，在太阳辐射强度较高、环境温度适宜的时段，系统会提高集热器的工作效率，以充分捕捉

并利用太阳能；而在太阳辐射较弱或环境温度过高、过低的时段，系统则会相应地降低集热器的工作强度，以避免不必要的能耗和热量损失。除了提高能效外，智能控制系统的应用还带来了显著的能耗降低和运维成本削减。通过精确的调控，系统能够确保集热器在最优状态下运行，从而减少了不必要的能源消耗和运维工作量。同时，系统还具备实时监测和故障诊断功能，能够及时发现并处理集热器运行过程中的潜在问题，有效预防了故障的发生，进一步保障了集热器的长期稳定运行。

（五）幕墙龙骨设计

幕墙龙骨作为太阳能集热系统的核心支撑构件，其设计在整个建筑集成太阳能系统中占据着举足轻重的地位。为了确保幕墙龙骨能够有效地承担起集热器的重量以及抵御风荷载等外部环境因素的冲击，其必须具备卓越的强度特性和足够的刚度表现。在材料选择上，应优先考虑高强度、高韧性的材质，并通过合理的结构设计，如增加截面尺寸、采用加强筋等方式，来进一步提升龙骨的整体承载性能。幕墙龙骨的设计还需充分考虑到集热器的具体安装需求。包括确定集热器的精确安装位置、倾斜角度以及相互之间的间距，以确保集热器阵列能够最大化地捕捉并吸收太阳能辐射，从而提升整个太阳能系统的能效和发电效率。因此，在设计过程中，需要借助专业的计算机辅助设计软件，对龙骨布局进行精确模拟和优化，以找到最佳的安装方案。

（六）防水设计

在建筑一体化设计过程中，防水性能的提升是确保太阳能集热系统与幕墙结构长期稳定运行的关键要素之一。为了有效防止雨水通过缝隙渗透，对集热器组件及幕墙结构产生潜在的损害，防水设计需被置于设计流程的核心位置。为实现这一目标，多种防水材料和构造技术可被灵活运用。密封胶因其出色的弹性恢复能力和黏附性，成为连接集热器与幕墙间缝隙的理想选择。通过精细的施工操作，密封胶能够形成一道连续的防水屏障，有效隔绝外部水分的侵入。同时，防水条作为一种辅助防水材料，其形状和尺寸可根据实际缝隙情况进行定制，以进一步增强防水效果。在防水设计的实施过程中，还需特别注意细节处理。例如，对于集热器安装边缘、固定支架连接点等易渗水部位，应采取额外的防水密封措施，如增设防水垫片或采用专用的防水涂料，以确保整个防水系统的可靠性和耐久性。

（七）连接件设计

在建筑一体化太阳能系统中，连接组件不仅需具备出色的连接可靠性，确保集热器模块在各种气候条件下都能保持稳定的安装状态，还需展现出卓越的耐久性，以应对长期户外暴露所带来的各种挑战。在设计连接件时考量因素是材料的热膨胀系数及其随温度变化的响

应。由于集热器模块和幕墙龙骨可能由不同材质构成，它们在不同温度下的热膨胀率会有所差异。这种差异若未得到妥善处理，可能会导致连接件承受过大的应力，进而影响其连接性能和整体结构的稳定性。为了有效应对这一问题，连接件的设计需采用先进的热补偿机制。这可能包括使用具有适当热膨胀系数的特殊材料，或者设计具有可调节性的连接结构，以吸收和缓解因温度变化而产生的热应力。此外，连接件的形状、尺寸和安装方式也应经过精心计算和优化，以确保其在各种工况下都能提供稳定且可靠的连接。

三、能效评估方法

（一）热效率测试

热效率测试是评估集热器性能的核心环节。通过这一测试，可以量化集热器对太阳能的吸收和转化效率。在测试过程中，记录并分析一系列关键参数是不可或缺的步骤。其中，太阳辐射强度作为太阳能输入的直观体现，其数据的准确性对于后续的热效率计算至关重要。同时，环境温度也是影响集热器热损失的重要因素之一，其波动会直接影响集热器的散热效果和整体性能。因此，在测试过程中，需要实时监测并记录这些关键参数，以确保后续计算的准确性。基于所记录的太阳辐射强度、环境温度等参数，可以借助热力学原理，构建出集热器热效率的数学模型。这一模型通过综合考虑太阳能输入、集热器散热以及热能转化等多个因素，能够较为准确地计算出集热器的热效率值。通过对比不同集热器的热效率值，可以直观地评估其性能的优劣，为后续的集热器设计、优化以及选型提供有力的数据支持。

（二）能耗分析

能耗分析是评估集热器与建筑幕墙融合后对建筑整体能耗影响的关键步骤。在进行能耗分析时，不仅仅关注建筑的整体能耗水平，还深入到各个能耗环节进行细致的数据采集与分析。这包括但不限于供暖系统、制冷系统、照明系统以及建筑其他辅助设施的能耗情况。通过全面而详尽的数据记录，能够更加准确地把握建筑在不同工况下的能耗特征，为后续的分析与评估提供坚实的基础。在对比分析融合前后建筑的能耗数据时，采用科学的方法论和严谨的数据处理流程，以确保分析结果的准确性和可靠性。通过对比不同工况下的能耗数据，可以直观地看到集热器在降低建筑能耗方面的实际效果。进一步地，还可以利用这些数据计算出集热器带来的具体节能效果，如节能百分比、节能量等关键指标，从而更加直观地评估集热器在实际应用中的价值。

（三）经济性评估

经济性评估是衡量集热器与建筑幕墙融合方案经济可行性的重要依据。在投资成本方面，需要综合考虑集

热器的购置费用、安装费用以及调试费用等多个环节。这些费用构成了融合方案实施初期的主要经济支出，对于评估其经济可行性具有至关重要的影响。运行成本方面，则涵盖了日常维护费用、能耗费用以及可能的故障维修费用等多个方面。这些费用在融合方案的长期运行过程中持续产生，对于评估其长期经济性能同样具有重要意义。在评估过程中，需要结合实际情况，对这些费用进行合理预测和估算。而节能收益则是集热器与建筑幕墙融合方案所带来的直接经济效益。通过降低建筑能耗，融合方案能够为用户节省大量的能源费用，从而产生显著的节能收益。这一收益是评估融合方案经济可行性的重要依据之一。在综合考虑投资成本、运行成本以及节能收益等多个因素的基础上，可以利用成本效益分析等方法，计算出融合方案的总成本效益。通过对比总成本效益与预期收益，可以直观地评估融合方案的经济可行性，为后续的决策和实施提供有力的数据支持。

（四）环境影响评估

环境影响评估是评估集热器与建筑幕墙融合方案对环境保护贡献的重要环节。主要关注融合方案在能源利用、碳排放等方面的表现。通过对比分析融合前后的能源利用效率和碳排放量，可以评估集热器对减少环境污染和缓解气候变化的贡献。这种评估不仅有助于提升融合方案的环境友好性，还能为制定更加环保的能源政策提供科学依据。

结束语

集热器与建筑幕墙融合的机械设计及其能效评估是实现太阳能有效利用与建筑能耗降低的重要途径。通过优化集热器的布局、结构强度、热效率以及与幕墙的协调性等因素，可以实现集热器与幕墙的完美融合。同时，通过能效评估方法的应用，可以评估融合方案的效果和经济性。随着太阳能技术的不断发展和建筑领域对能效要求的不断提高，集热器与建筑幕墙融合的设计将更加注重创新性和实用性。同时，还需要加强跨学科合作，推动太阳能与建筑一体化技术的深入研究和广泛应用。

参考文献

- [1]程昱茜,吕雪,冯国会,等.近零能耗建筑光伏幕墙系统换热优化研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2023,39(02):314-322.
- [2]杨晚生,崔俊杰.铝幕墙板太阳能集热器的性能研究[J].可再生能源,2021,34(02):178-183.
- [3]何佳,刘燕军,赵晖.现代超高层综合楼建筑节能措施的研究与实践——以北京浦项中心设计项目为例[J].建筑节能,2022,43(04):74-78.