

# 太阳能光伏光热综合利用系统的优化研究

史娇阳 魏 岩 王 刚

**摘要:** 随着全球能源需求的持续增长和环境问题的日益严重, 新能源的开发与利用成为当今社会关注的焦点。太阳能作为一种可再生、清洁、丰沛的能源, 逐渐成为解决能源危机和环境污染的有效途径。近年来, 太阳能光伏(PV)和光热(CSP)技术的快速发展, 为我国乃至全球的能源结构转型和可持续发展提供了巨大的潜力。然而, 尽管太阳能技术的应用不断扩展, 如何有效地实现太阳能光伏与光热的综合利用, 提升系统整体的能源转换效率, 仍然是一个亟待解决的技术难题。本研究旨在通过对太阳能光伏光热综合利用系统的优化研究, 探索提升系统整体性能的有效路径, 希望对相关人员提供参考。

**关键词:** 太阳能; 光伏光热; 综合利用系统; 优化

## 引言

近年来, 全球能源需求不断增长, 尤其是在工业化和城市化进程加速的背景下, 能源消费量大幅上升, 传统化石能源的消耗导致了严重的环境污染和温室气体排放, 全球气候变暖问题愈发突出。为了应对气候变化, 国际社会纷纷出台了相关政策, 以减少碳排放, 推动能源结构转型。我国也在积极推动能源转型, 致力于发展绿色低碳经济, 推动太阳能、风能等可再生能源的广泛应用。

## 一、太阳能光伏光热综合利用系统的构建与工作原理

### 1. 系统构成

太阳能光伏光热综合利用系统的构成主要包括光伏组件、光热集热器、储能系统、热交换器和控制系统等关键部件。光伏组件负责将太阳辐射转换为电能, 是系统中电力供应的核心部分。通过光伏发电, 系统能够为负载提供电力支持, 同时产生的电能可以用于驱动储能系统或直接供应给用电设备。光热集热器则负责利用太阳能进行热能收集, 通过集热管将太阳辐射转化为热能,

为建筑提供采暖或热水。光热系统不仅可以在晴天发挥较高的热效应, 还能够一定程度上与光伏发电进行协同工作, 提升系统的能源综合利用效率。储能系统在这一过程中起着关键作用, 通过电池储存光伏发电的剩余电能或光热系统产生的热能, 保证在阴天或夜间等无光照条件下仍能够持续供能。热交换器则在系统中起到温度调节和热量传输的作用, 通过与储热介质的热交换, 确保光热系统在实际应用中能够提供稳定的热能输出。最后, 控制系统则负责对光伏和光热模块的协同运行进行智能调度和管理, 确保系统在不同环境条件下的最佳运行状态, 最大化能源的利用效率。

### 2. 工作原理

太阳能光伏光热综合利用系统的工作原理通过光伏与光热技术的协同作用实现能源的高效利用。在系统中, 光伏组件将太阳辐射转化为电能, 为系统提供电力供应。这些电能可以直接供应给负载, 也可通过储能装置存储起来, 供系统在无阳光照射的时段使用。同时, 光热集热器将太阳光转化为热能, 并通过热管或集热管将热量传递给储热介质, 如水或热油, 储热介质被加热后可用于建筑物的采暖、热水供应等需求。在光照强烈的时段, 光伏发电与光热供热可以同时进行, 形成互补的能源供应模式, 既能提供电能, 又能提供稳定的热能。储能系统通过电池或热储存装置存储光伏系统多余的电能或光热系统产生的热能, 保证在光照不足的时段, 系统依然能够继续为用户提供电力和热量。热交换器在系统中起着至关重要的作用, 它在光热系统中通过介质与环境之间的热交换, 实现热量的有效传递, 确保热能可以精确

## 作者简介:

1. 史娇阳(1985.11——)女, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事市政热力、清洁能源供暖设计工作。
2. 魏岩(1990.05——)女, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事热力方面的研究工作。
3. 王刚(1976.08——)男, 汉族, 本科学历, 高级工程师, 主要从事清洁能源供暖供氧设计方面的工作。

控制并稳定输出。控制系统则通过智能调度对光伏与光热模块进行实时管理，基于环境变化调整工作模式，优化系统整体效率，确保两者在最佳状态下协同工作，充分发挥太阳能资源的利用潜力。

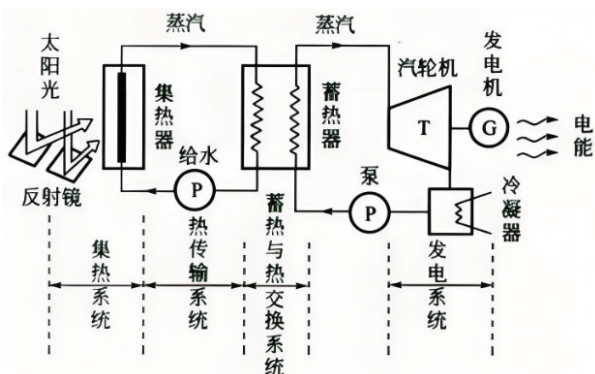


图1 太阳能热发电原理

## 二、优化方法与算法

### 1. 传统优化方法

传统优化方法在太阳能光伏光热综合利用系统中常用于提高系统的运行效率和降低能量损失，主要包括线性规划、非线性规划、动态规划和遗传算法等技术。线性规划通常用于优化系统中各模块的能量分配，通过建立目标函数（如最小化系统的运行成本或最大化能量利用率）与约束条件（如电力输出限制、光热转换效率等）之间的关系来求解最优解。在光伏光热综合利用系统中，光伏发电量与热能需求之间的平衡可以通过线性规划方法来优化，从而确保电能和热能的最优配比。非线性规划则适用于处理更复杂的系统优化问题，尤其是当系统模型涉及非线性关系时，如光伏转换效率与辐射强度之间的非线性关系。通过非线性规划，可以在考虑系统非线性特性的情况下，优化系统性能。动态规划则在处理具有时间序列的优化问题时，尤其在储能系统的优化调度中发挥重要作用。例如，通过动态规划可以优化储能电池的充放电策略，确保电池在不同负荷和天气条件下的高效运行。遗传算法作为一种启发式优化方法，能够通过模拟自然选择和遗传过程，寻找全局最优解。在系统优化过程中，遗传算法可以用于调整光伏模块与光热模块的协调运行参数，考虑到天气波动、电力需求变化等因素，优化系统的长期性能。传统优化方法通过这些技术，能够在一定程度上提升系统运行的稳定性、经济性和能效。

### 2. 智能优化方法

智能优化方法在太阳能光伏光热综合利用系统中，

尤其在面对复杂、动态环境时，能够提供比传统优化方法更为灵活和高效的解决方案。粒子群优化（PSO）是一种基于群体智能的优化方法，它模拟了鸟群觅食的过程，通过粒子群的相互合作与信息交流，逐步逼近最优解。在光伏光热系统中，PSO能够有效调整光伏与光热模块的协同工作策略，如在多变的天气条件下优化光伏发电与热能需求的匹配，以达到最大能效输出。此外，PSO可以根据历史数据和实时数据调整储能系统的充放电策略，避免过度充电或放电造成电池寿命缩短。蚁群优化算法（ACO）通过模拟蚂蚁寻找食物的过程，依靠信息素的积累与传播寻找最优路径。在光伏光热系统优化中，ACO可应用于光伏组件和集热器之间的能量流分配与调度，提升系统对外部环境变化的适应能力。神经网络和机器学习则通过对大量历史数据的学习与预测，能够根据不同的气候条件与负载需求，动态调整系统参数，以实现最佳运行状态。例如，神经网络可以预测短期内光伏发电量的变化，智能控制系统据此调整光热系统的热能输出，避免能源浪费。这些智能优化方法通过自适应学习与决策，能够在动态、复杂的环境中，实时优化系统性能，提升太阳能综合利用的效率与可靠性。

## 三、系统控制策略与调度优化

### 1. 控制策略概述

在太阳能光伏光热综合利用系统中，控制策略的设计至关重要，它直接影响系统的整体性能和能源利用率。传统的控制策略如比例-积分-微分（PID）控制、模糊控制等被广泛应用于光伏光热系统中，PID控制以其简单易实现的特点，能够对系统的输出进行实时调节，适用于温度控制和电力输出调节。然而，PID控制在面对复杂的非线性系统时，往往难以获得理想的控制效果。为此，模糊控制被提出，能够处理系统中的不确定性和非线性特征。模糊控制通过构建模糊规则，依据系统的输入（如光照强度、温度变化等）输出控制信号，实现对光伏发电和光热供热系统的柔性调节。模糊控制的优势在于它不需要精确的数学模型，而是通过专家经验和规则库来处理系统的不确定性，因此在变化较大的环境中表现出较强的适应性。

然而，随着技术的发展，智能控制策略逐渐成为光伏光热系统优化的主流。例如，基于模型预测控制（MPC）的方法通过实时预测系统状态变化，利用模型优化控制输入，能够提前预判未来系统的行为并做出调整。

MPC在面对复杂的光照变化和负荷需求时，能有效避免过度控制或能量浪费。此外，强化学习（RL）作为一种自学习的控制策略，通过与环境交互和试错过程，能够自动学习最优控制策略，使得系统能够在多变的条件下自适应调节，如优化储能系统的充放电策略或光伏光热模块的运行模式。智能控制策略通过动态调整 and 自适应优化，不仅提高了系统的整体稳定性，还能在复杂环境下提升光伏光热综合利用的效率与经济性。

## 2. 实时调度优化

实时调度优化在太阳能光伏光热综合利用系统中扮演着至关重要的角色，尤其是在应对天气变化、负荷波动等外部因素时，能够有效提高系统的综合效率。通过动态调度，系统能够根据实时的光照强度、温度、负荷需求以及储能状态来优化光伏与光热模块的运行。具体来说，光伏组件的电力输出受到天气变化的影响，实时监测光照数据能够帮助系统预测短期内的发电量变化，并根据预测结果调整光热集热器的工作模式，以确保在光照较弱时，光热系统能够提供足够的热量支持，从而降低对外部能源的依赖。在此基础上，储能系统的调度尤为关键，通过实时监控电池的充放电状态，系统能够灵活调整储能策略，在电力过剩时将多余电能储存，而在电力需求高峰期或光照不足时释放储存的电能，保证系统的稳定性与持续供能。

实时调度优化还包括对热能存储和热交换过程的调节。根据负荷的变化，控制系统会调整热能的输出和存储，以满足建筑供热或供水需求。与此同时，热交换器在不同时间段根据温度差异来调节热能流动，保证热能的有效利用。当气候条件发生变化或系统状态发生波动时，控制系统能够实时根据预设的优化算法调整各模块

的工作模式，避免能源浪费，并确保系统的稳定运行。此外，实时调度优化能够通过智能化算法，实现不同模块之间的协同工作，不仅提升了系统的能源利用效率，还在很大程度上降低了运行成本，增强了系统在多变环境下的适应能力。

## 结束语

综上所述，太阳能光伏光热综合利用系统的优化研究不仅具有重要的学术价值，还有助于推动绿色低碳技术的落实与发展。展望未来，随着科技的不断进步和政策的逐步完善，期望这一系统能够在更广泛的领域中发挥其潜力，为全球能源结构转型作出积极贡献。希望通过本研究，能够引发更多领域的关注与深入探索，共同推动可再生能源的美好未来。

## 参考文献

- [1] 王娜, 张衡, 楚尚玲, 等. 基于聚光光伏光热的太阳能供暖系统性能优化[J]. 节能, 2024, 43(2): 1-5.
- [2] 樊红日, 金建荣, 马昭键. 太阳能光伏光热综合利用系统的优化研究[C]//2024新技术与新方法学术研讨会论文集. 2024.
- [3] 刘庆凡. 基于LFR聚光器的太阳能聚光分频光伏光热系统及强化传热研究[D]. 东北电力大学, 2024.
- [4] 张曼铮, 郭伟, 方宇成, 等. 基于太阳能分频利用的光伏/光热综合发电系统热力学分析[J]. 动力工程学报, 2024, 44(8): 1216-1225.
- [5] 叶爽, 张昕宇, 俞英鹤, 等. 太阳能光热光伏耦合空气源热泵系统清洁取暖应用减碳性能研究[J]. 建筑科学, 2024, 40(6): 10-16.