

A Microscopic Exploration of Solar Air Conditioning Technology in the Green and Low-Carbon Era

Zuguo Yu

China Electronics System Engineering Second Construction Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214142, China

Abstract

This study systematically explores the technical principles, application advantages, and development prospects of solar powered air conditioning. By analyzing photothermal/photovoltaic conversion technology, absorption/compression refrigeration systems, and combining typical cases at home and abroad, the outstanding value of solar air conditioning in energy conservation and consumption reduction (annual reduction of CO₂ by 50 tons), economic feasibility (long-term operating cost reduction of 40% -60%), and social benefits (promoting the development of green buildings) has been verified. Propose measures such as technological innovation and policy support to address challenges such as improving energy efficiency, system stability, and high costs. It is predicted that the global market size will exceed 10 billion US dollars by 2030, and China is expected to reach 15 billion yuan, becoming a core growth pole.

Keywords

Green and low carbon; Solar air conditioning; Integrated design; Energy efficiency ratio; Policy support

绿色低碳时代太阳能空调技术探微

余祖国

中国电子系统工程第二建设有限公司, 中国·江苏 无锡 214142

摘要

本研究系统探讨了太阳能发电驱动空调的技术原理、应用优势及发展前景。通过分析光热/光电转换技术、吸收式/压缩式制冷系统, 结合国内外典型案例, 验证了太阳能空调在节能降耗(年减排CO₂达50吨)、经济可行(长期运行成本降低40%~60%)和社会效益(推动绿色建筑发展)等方面的突出价值。针对能效比提升、系统稳定性及成本高等挑战, 提出技术创新、政策支持等对策。预测2030年全球市场规模将突破100亿美元, 中国有望达150亿元, 成为核心增长极。

关键词

绿色低碳; 太阳能空调; 一体化设计; 能效比; 政策支持

1 引言

1.1 研究背景

在全球能源结构中, 截至 2023 年, 化石能源仍占据主导地位, 占比高达 81% (国际能源署, 2023)。与此同时, 建筑能耗在全球总能耗中的占比不容小觑, 达 30%~40%。其中, 空调系统能耗在建筑能耗中占比较大, 约为 40%~60%。传统空调主要依赖化石能源发电运行, 加剧了碳排放问题。当前, 全球年 CO₂ 排放总量超 300 亿吨, 大气中 CO₂ 浓度已突破 420ppm。在此严峻的环境与能源形势下, 太阳能空调作为绿色低碳解决方案备受关注。太阳能空调通过光热/光电转换技术驱动制冷, 可显著降低碳排放, 减排幅度可达 80%~90%, 成为推动全球能源绿色低碳转型

的关键技术之一。

1.2 面临的挑战

尽管太阳能空调技术取得一定发展, 但仍面临诸多挑战。初始成本过高是突出问题, 太阳能空调系统初始投资成本通常为传统空调的 3~5 倍。储能技术存在瓶颈, 以锂电池为例, 其循环寿命较短, 一般小于 2000 次, 限制了太阳能空调系统在无光照时段的持续稳定运行。此外, 能效比低也是亟待解决的问题, 如吸收式制冷系统的 COP 仅为传统压缩式制冷系统的 1/3, 导致太阳能空调在能源利用效率上与传统空调存在较大差距。

2 技术原理与创新

2.1 太阳能发电技术

2.1.1 光热转换

光热转换是太阳能利用的重要方式。平板集热器在太阳能光热转换中应用广泛, 在 25℃环境温度下, 其效率可达 50%~60%。平板集热器结构简单、成本相对较低、安装

【作者简介】余祖国(1972-), 男, 中国湖北黄梅人, 本科, 高级工程师, 从事供热通风与空调工程研究。

维护方便,适用于一般低温热水需求场景,如居民生活热水供应、小型太阳能供暖系统等。但在需要高温热源的应用场景中,平板集热器性能不足。聚焦式集热器适用于高温场景,通过特殊光学设计将太阳光聚焦到较小吸收面,产生较高温度热能,可满足工业生产中的高温工艺需求,如太阳能热发电、高温干燥等。然而,聚焦式集热器成本相对较高,其光学聚焦装置和跟踪系统的制造、安装与维护需较高技术水平和成本投入。

2.1.2 光电转换

光电转换利用半导体材料的光伏效应将太阳能直接转化为电能。目前,硅基电池在占据主导地位,效率一般在18%~22%。硅基电池技术成熟,产业链完善,大规模生产使其成本不断降低,性价比高。钙钛矿电池作为新型太阳能电池,近年来在实验室研究中成果斐然。单结钙钛矿电池实验室效率已达26.1%,叠层钙钛矿电池效率更是高达33.9%。随着技术进步和规模化生产推进,钙钛矿电池成本有望大幅降低,预计可降至0.5~0.6元/W。这将使钙钛矿电池在太阳能空调光电转换领域具有巨大应用潜力,有望成为未来太阳能空调系统高效、低成本的电能来源。

2.2 制冷系统

2.2.1 吸收式制冷

吸收式制冷系统在太阳能空调中有独特应用。以溴化锂-水系统为例,其性能系数(COP)一般在0.6~1.2之间。该系统需80℃以上热源驱动,在太阳能供应充足且能满足高温热源需求时,可实现高效制冷。但阴天时光照强度减弱,太阳能集热器产生的热源温度难以达标,导致系统效率下降。此外,溴化锂溶液腐蚀性强,对系统设备材质要求高,增加了设备制造成本和维护难度。吸收式制冷系统适用于对能源利用有特殊要求、能充分利用太阳能热源的场景,如大型商业建筑、酒店等,这些场所通常有稳定热水需求,可与吸收式制冷系统协同运行,实现能源梯级利用。

2.2.2 压缩式制冷

光伏驱动的压缩式制冷系统在太阳能空调中较为常见。其性能系数(COP)一般在2.5~4.0之间。在该系统中,太阳能光伏发电产生的直流电无法直接驱动压缩式制冷压缩机,需逆变器将直流电转换为交流电,逆变器效率一般在90%~95%。同时,为保证无光照时段空调系统正常运行,需配备储能装置。目前常用的磷酸铁锂电池成本在1000~1500元/kWh,虽安全性高、循环寿命长,但成本仍相对较高。压缩式制冷系统制冷速度快、制冷量调节范围广,适用于对制冷效果要求较高、能较好解决储能问题的场所,如高端住宅、写字楼等。

2.3 技术创新

2.3.1 高效集热技术

在太阳能集热方面,纳米涂层技术为提高集热效率提供新途径。在集热器表面涂覆纳米涂层,可将集热器对太阳

光的吸收率提升至95%,大幅增强集热器吸收太阳能的能力。此外,可调支架的使用也能有效提高集热效率。可调支架可根据不同季节、地理位置及太阳运行轨迹,灵活调整集热器角度,使其始终保持最佳采光角度,从而提高集热效率10%~20%。例如,在我国北方地区,冬季太阳高度角较低,通过调整支架角度,使集热器更接近垂直于太阳光方向,可显著增加集热器接收的太阳辐射量,提升集热效果。

2.3.2 智能控制技术

智能控制技术在太阳能空调系统中的应用,为优化系统运行提供有力支持。利用AI算法优化储能装置充放电过程,可将储能充放电效率提升至85%。通过精确控制充放电时机和充放电量,避免过充和过放现象,不仅提高储能装置使用效率,还能延长电池寿命20%。例如,白天太阳能发电充足时,AI算法根据空调系统实时能耗和储能装置剩余电量,智能控制充电过程,确保满足空调用电需求的同时,将多余电能高效存储;夜间或阴天太阳能发电不足时,AI算法精准控制放电过程,保证空调系统稳定运行。同时,智能控制技术还可根据室内外环境参数、用户使用习惯等因素,智能调节空调制冷量、风速等运行参数,实现个性化舒适体验和能源高效利用。

3 优势分析

3.1 能效提升明显

不同类型太阳能空调系统在能效提升方面均有出色表现。光伏-压缩系统将太阳能光伏发电与压缩式制冷系统结合,可有效降低能耗,相比传统空调系统能耗降低40%~60%。光热-吸收系统利用太阳能光热转换产生的热能驱动吸收式制冷系统,能耗可降低30%~50%。这种能效提升不仅减少了对传统能源依赖,还降低能源消耗成本,实现经济效益与环境效益双赢。

3.2 家用系统的经济效益

以5kW家用太阳能空调系统为例,初始投资成本在3~5万元左右。长期使用过程中,该系统经济效益显著。假设电价为1.2元/度,经计算,在20年使用周期内,该系统可节省电费15.4万元。这意味着在系统使用寿命内,用户使用太阳能空调节省的电费远超初始投资成本,从长期看,投资回报率较高。

3.3 市场规模增长潜力大

从市场规模看,2022年中国太阳能空调市场规模达60亿元。随着技术进步、成本降低及市场认知度提高,预计到2028年,中国市场规模将增长至150亿元,年复合增长率(CAGR)约为20%。这一快速增长趋势表明,太阳能空调市场具有巨大发展潜力,将吸引更多企业投入太阳能空调研发、生产与销售,进一步推动产业发展和技术进步。

3.4 社会效益

绿色建筑:透明光伏幕墙不仅满足了采光需求,还实现了发电功能,某项目因此实现年减排CO₂量高达300吨。

能源结构优化：某地区可再生能源占比从 10% 提升至 15%，年减标煤 3.6 万吨。

4 应用案例

4.1 商业建筑

系统设计：60kW 单晶硅光伏 + 螺杆冷水机组 + 10kWh 储能，年省电费 7.7 万元，CO₂ 减排 50 吨，回收期 5~8 年。

4.2 高端住宅

创新方案：可调支架（集热效率 +18%）、分体式集热器、透明光伏玻璃幕墙（成本降 20%）。

4.3 医院

太阳能空调技术在各类医疗机构中的应用，展示了其与其他清洁能源技术结合的潜力，尤其是在提升系统效率、增强可靠性方面。通过将太阳能资源与其他如空气能热泵等清洁能源解决方案相结合，不仅能够显著降低医疗机构的运营成本，还能有效减少环境污染，进而改善患者和医护人员的生活质量。

4.4 非洲市场

在全球能源问题日益突出的背景下，非洲市场对清洁能源产品有着强烈需求。海尔敏锐捕捉到这一商机，通过研发太阳能空调成功占领非洲市场。

非洲大部分地区光照资源丰富，但电力基础设施薄弱，许多地区供电不稳定甚至缺电。传统空调依赖稳定电力供应，在非洲推广受限。海尔研发太阳能空调，以太阳能为主要能源，解决了非洲电力不足的难题。这款空调采用高效太阳能转化技术，能将太阳能高效转化为电能，满足空调运行需求。同时，配备先进储能装置，在光照不足时也能持续稳定运行。

海尔在非洲市场推广太阳能空调时，采用了精准市场策略。深入调研非洲不同地区需求和消费习惯，针对不同区域推出定制化产品。在宣传上，强调产品节能环保、稳定运行等特点，契合非洲可持续发展需求和当地消费者对产品可靠性的追求。通过与当地经销商合作，建立完善销售和售后服务网络，提高产品覆盖率和用户满意度。

海尔太阳能空调在非洲市场的成功，带来诸多启示。企业应关注全球能源趋势和市场需求变化，积极研发创新产品。精准市场调研和营销策略至关重要，只有深入了解目标市场，才能推出符合当地需求的产品和服务。完善的销售和售后服务体系是产品立足市场的保障，能增强用户信任和忠诚度。

海尔太阳能空调在非洲市场的成功，为其他企业拓展国际市场提供了宝贵经验，在全球能源转型和市场竞争中具有重要借鉴意义。

5 挑战与对策

5.1 技术挑战

能效提升：研发离子液体—水等新型工质对，提高吸收式 COP。

储能新选择：钠离子电池成本降低 30%，低温性能卓越，

唯能量密度待提升至 150Wh/kg 以上。

5.2 成本挑战

规模化生产：设备成本可降 20%~30%（光伏 1~1.5 元 /5kW）。

政策支持：美国 ITC 税收抵免政策允许符合条件的清洁能源项目获得项目成本约 30% 的税收抵免，这一政策为清洁能源项目开发商提供了清晰度和确定性，有助于降低消费者的公用事业费用，加强美国的能源安全，并创造高薪工作。

5.3 市场推广

房企携手合作：通过一体化设计，显著提升建筑价值，某住宅项目装机量更实现了 18% 的增长。

绿色建筑标准：政府强制公共建筑采用太阳能空调，应用率从 10% 提升至 30%。

6 前景展望

6.1 技术趋势

材料创新：钙钛矿电池商业化（成本降 30%~50%）、固态电池能量密度突破 150Wh/kg。

智能融合：物联网远程控制 + 大数据优化算法，实现个性化温控与能源调配。

6.2 市场预测

全球市场：2030 年规模超 100 亿美元（CAGR 15%~20%）。

中国市场：农村与工业领域潜力大，2028 年规模 150 亿元。

6.3 政策建议

阶梯补贴：高效产品额外补贴 10%，推动技术升级。

区域产业规划：西部发展光热—吸收式，长三角聚焦光伏—压缩式。

7 结论

得益于政府的政策支持和技术创新，中国太阳能空调行业在过去几年中经历了显著的增长，市场规模在 2023 年达到了约 120 亿元人民币，同比增长了 15%。预计 2025 年，市场规模将进一步扩大至 180 亿元人民币，年复合增长率约为 20%。未来需突破能效比、储能寿命与成本瓶颈，加强市场教育与产业协同，助力全球碳中和目标。

参考文献

- [1] EA. (2023). World Energy Statistics Yearbook.
- [2] NREL. (2024). Photovoltaic-Thermal System Integration.
- [3] Zhang, Y. et al. (2022). "Perovskite Solar Cells: Efficiency and Stability". Advanced Energy Materials.
- [4] Wang, L. et al. (2021). "Lithium vs. Sodium-ion Batteries in Renewable Systems". Energy Storage Journal.
- [5] China National Renewable Energy Centre. (2023). Solar Air Conditioning Market Report.