

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.02.050

温室用风光互补发电技术研究现状

何樱鸣, 蒋惠文, 王艺凡, 吕嘉颖, 彭梓莹

(河海大学 人工智能与自动化学院, 江苏 常州 213200)

摘 要: 温室大棚作为农业设施的重要组成部分,其电力供应的稳定性和可靠性对于农业生产至关重要,而温室大棚常建于偏远地区,输电和供电成本较高。风力与太阳能作为可再生能源,将其合理匹配应用到温室供电系统中,能为温室提供更加绿色且稳定的能源。为此梳理风光互补发电系统的结构与原理,综述系统中光伏发电、风力发电、控制器、蓄电池组及逆变器模块的研究进展与现状,并展望未来的发展前景。

关键词: 温室;风光互补发电;研究现状

中图分类号: TM614 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2026)02-0265-04

Research Status of Wind-Solar Complementary Power Generation Technology for Greenhouses

HE Yingming, JIANG Huiwen, WANG Yifan, LV Jiaying, PENG Ziyang

(College of Artificial Intelligence and Automation, Hohai University, Changzhou 213200, China)

Abstract: Greenhouse, a crucial part of agriculture facility, the stability and reliability of its power supply is essential to agricultural production, however, it suffers high costs of transmission and power supply due to its usual remote location. Therefore, reasonable matching wind power and solar energy as renewable energy to greenhouse power supply system is able to provide greenhouse with more green and stable energy. This paper reviews the structure and principle of wind-solar complementary power generation system, summarizes the research progress and present situation of photovoltaic power generation, wind power generation, controller, battery pack and inverter model in the system, and envisions the future development prospects.

Keywords: greenhouses; wind and solar complementary power generation; research status

0 引言

温室大棚一般位于偏远地区,供电成本高。风光互补系统结合光伏与风力发电,可以提供绿色、稳定的能源,减少了对电网的依赖^[1]。对此国内外研究重点有所不同,国外集中于氢能储存于垂直轴风机,国内则侧重于智能控制与光伏虚拟储能。

1 温室用风光互补发电系统的结构与原理

风光互补发电系统结合了光伏发电与风力发电模块,通过智能控制与蓄电池组的配合,确保温室供电的连续性与稳定性。光伏模块将太阳能转化为直流电,风力发电模块利用风能产生电力。当自然资源不足时,蓄电池提供备用电力;当电力过剩时,多余能量储存在电池中。控制器实时调

度各模块的运行,确保系统的高效协调。逆变器则将系统产生的直流电转换为适合温室设备使用的交流电。

系统整体流程如图 1 所示,其展示了从能量采集到电力输出的完整过程。图 2 则进一步描述了系统的电力转换模式。通过各模块的高效协作,风光互补系统不仅提高了能源利用率,还减少了对外部电网的依赖。

2 温室用风光互补装置各环节研究进展

2.1 光伏发电模块

光伏发电模块通过将太阳能转化为电能来满足温室的能源需求。利用半导体材料的光生伏特效应,太阳光被转化为直流电,并通过系统储存和使用^[2]。

基金项目: 河海大学大学生创新训练计划省级项目(202410294230Y)

第一作者简介: 何樱鸣(2004—),女,广西钦州人,本科,研究方向为风光互补发电系统智能控制策略,19977711019@163.com。

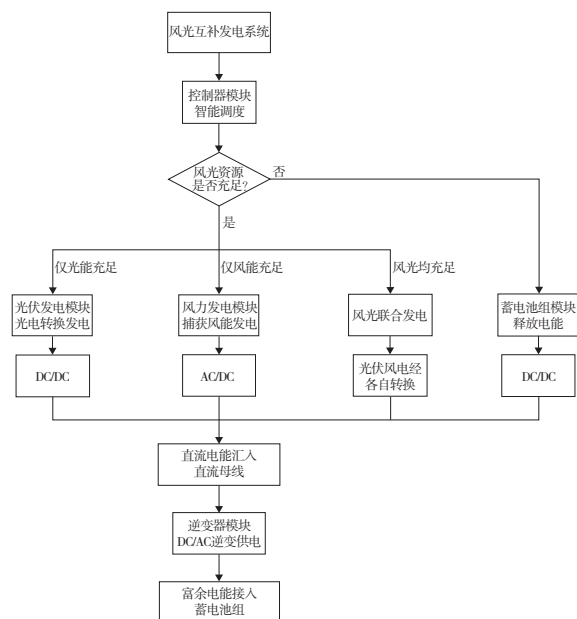


图1 风光互补发电装置原理图

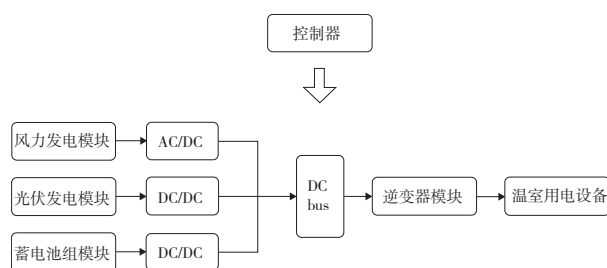


图2 电力转换模式图

关于光伏阵列技术的研究已较为成熟,此方面的研究进展都得到了极大突破。目前已研制了一种特殊的光导板,将其应用在温室的窗户上,可以在保证植物正常生长所需进光量的同时,实现光伏发电的功能。在实际应用中,为了保障系统的稳定,防反充二极管得到了广泛应用。光伏发电模块利用温室顶部的太阳能转化为电力,并通过防反充二极管防止夜间或阴雨天的反向放电,从而保护太阳能电池不受损坏^[3]。此外,为了提高温室光伏系统的发电效率,改进型最大功率点跟踪(MPPT)算法被广泛应用。而自适应调节惯性权重和学习因子的进一步研究,解决了传统算法在局部阴影下易陷入局部最优的问题,并加快了其收敛速度^[4]。通过采用变步长P&O法和电导增量法(INC)等算法,系统能够应对光照与温度的变化,确保系统稳定运行,并通过三环控制结构实现其最大功率输出。

在风光互补系统中,储能系统扮演着至关重要的角色。最近有研究提出了“光伏虚拟储能”

的概念,光伏虚拟储能并不是传统意义上的物理储能方式(如电池储能、抽水蓄能等),而是一种基于先进控制策略和资源优化配置的虚拟储能技术^[5]。此概念的提出为风光互补系统的优化提供了新思路和新方法。

2.2 风力发电模块

风力发电模块是通过风机叶片将风能转化为电能,从而为温室系统提供动力支持^[6]。近年来,风力发电技术取得了显著进展,特别是在微风启动技术和风光互补优化方面。

尽管现有的风力发电模块已具备较高的技术水平,但随着技术的进一步发展,未来的风力发电模块在温室应用中还有更多的潜力可挖掘。为了提高风能的利用率,可以在温室应用中推广垂直轴风力发电机(VAWT)。垂直轴风力发电机作为风力发电技术的前沿方案,正逐步展现出其在可再生能源领域的巨大潜力^[7]。与风电场常用的水平轴风机相比,垂直轴风机因其结构简单、占用的体积较小而尤其适合温室这种空间受限且风向多变的场景^[8]。

在荷兰的Naaldwijk温室农业基地,研究团队安装了多组垂直轴风力发电机(VAWT),可有效应对了温室周边风向多变的挑战。这些风机在低风速环境下(风速2~3 m/s)依然保持高效运行。该系统还与光伏设备结合,通过控制系统智能分配电力,能够更大程度地确保温室内部照明、通风和灌溉设备的正常运行。

2.3 控制器模块

风光互补供电系统中使用的核心控制器是可编程逻辑控制器(PLC)和数字信号处理器(DSP)。控制器采用PLC和DSP单元进行数据采集和系统控制,确保系统高效运行。通过MPPT技术优化能量输出。常用算法包括P&O和INC,可实现自适应调整。

风光互补发电装置控制器主要包括风力发电机控制器、光伏发电系统控制器、能量存储系统控制器、微电网控制器、智能监控系统这5部分,这些控制器相互协作,通过信息交换和指令传递,实现对风光互补发电系统的全面控制和管理,以确保温室大棚的高效稳定运行。

在控制器的设计方面,相关学者已经在风光互补控制器的控制方式上开展了大量而深入的研究与实验^[9]。在传统控制器根据蓄电池组的负荷提供最佳的充电电流和电压时,研究者对其充、放

电及风力、光伏电池组件的发电状态进行控制,又将蓄电池的剩余电量作为管理系统充放电的综合考虑因素之一,从负载与发电设备间供需平衡的角度来优化控制器的性能和系统的稳定性。在剩余电量计算的方法上,国内多数资料中均采用多参数补偿的方法^[10]。

研究最大功率点跟踪控制,以满足蓄电池分段式充电以及过充、过放保护的要求,并且后期在硬件电路设计部分采用 Multisim2021 系列软件对控制电路逐个模块进行仿真测试,可保证设计电路更贴近于真实电路的使用,缩短实际电路的开发时间和降低其开发的成本^[11]。

2.4 蓄电池组模块

蓄电池在风光互补发电系统中承担关键的储能与电力调节任务,在风力和光伏发电不足时提供稳定的电力供应,控制系统协调各子系统的运行,优化系统的功率输出^[12]。在当今市场上,大多数仍在使用的储能装置都基于铅酸电池化学^[13]。但近年来,锂电池逐渐替代传统的铅酸电池,因其具有更高的能量密度、更长的使用寿命和更低的维护成本。此外,固态电池等新型储能技术也在探索中,有望在未来能提高系统的安全性和运行效率^[14]。

蓄电池组的充放电控制主要采用恒流恒压充电法和脉冲充电法等常见方法。智能控制算法的引入实现了实时监控与调度,有效避免了过充和过放。此改进充电方法的根本在于判断蓄电池剩余容量(SOC)的变化率,如SOC的变化率越高,充电时间就越短。为了降低SOC的测算复杂度且兼顾一定的精度,对SOC的估算采用蓄电池常用模型CIEMAT中加以修正的安时法^[15]。

2.5 逆变器模块

逆变器将直流电转换为交流电,并通过脉冲宽度调制技术(PWM)提高电能质量^[16]。近年来,逆变器技术不断进步,如五电平中点箝位逆变器(5L-NPCI)和准Z源逆变器(qZSI),这实现了更高效的能源管理^[17]。随着电力电子技术的发展和智能化技术的应用,逆变器的技术性能得到了显著提升和多样化发展。未来的研究可集中在如何提高逆变器的效率与兼容性、降低成本、增强系统的智能化水平等方面。逆变器将继续朝着高效率、智能化和模块化的方向发展^[18],为风光互补发电系统的广泛应用和可持续发展提供有力支持。

3 结语

近年来,风光互补发电系统的研究已得到了显著进展。高效光伏板和各类风力发电机的不断发展,以及储能技术如锂电池的成本下降,这些都促进了风光互补系统在温室的应用^[19]。

尽管风光互补发电系统不断发展,但也还面临着一些挑战。面对这些挑战,国外研究逐渐转向氢能储能和垂直轴风机的结合,以进一步提高系统的灵活性和应对气候变化的能力。国内则在推动智能化控制和虚拟储能技术的应用,通过人工智能算法与储能优化相结合,实现对温室内外能源的高效管理。未来,温室风光互补系统将在智能控制、储能管理以及新能源融合方面取得更大的发展,为全球可持续农业和能源转型提供有力支持。

参考文献:

- [1] 艾斌,杨洪兴,沈辉,等. 风光互补发电系统的优化设计(I) CAD 设计方法[J]. 太阳能学报,2003,24(4): 540-547.
- [2] 周用. 光伏微网系统的发电特性及运行优化研究[D]. 恩施:湖北民族大学,2021.
- [3] 张帅. 风能和太阳能互补发电系统研究[D]. 保定:河北农业大学,2014.
- [4] 张文昇,王宏华. 基于改进 PSO 的局部阴影下光伏阵列 MPPT 控制[J]. 机械制造与自动化,2022,51(2): 207-209.
- [5] NI J H, CHEN Y W, WANG T, et al. Optimization strategy for wind - solar complementary energy storage capacity leveraging photovoltaic virtual energy storage [C]//2024 3rd Conference on Fully Actuated System Theory and Applications (FASTA). Shenzhen, China: IEEE, 2024: 1317-1322.
- [6] 韩文轩,胡春华. 利用风力发电的新型智能温室[J]. 电子技术与软件工程,2016(23):254.
- [7] TESTI A, DE SOUZA T M, DE BARROS TRANNIN I C. Technical and economic feasibility of a small vertical axis wind turbine in low wind conditions compared to other power sources for pumping water[J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 470: 143328.
- [8] 史兆阳. 垂直轴风力发电机的叶片优化及结构研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2021.
- [9] 杨尚骏. 风光互补发电系统控制策略与容量配置研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2023.
- [10] 解冰清. 计及风光互补出力特征的区域发电系统容量优化配置模型研究[D]. 北京:华北电力大学,2023.

- [11] 栾亨淳. 风电—光伏—光热互补发电系统运行特性仿真研究[D]. 北京:华北电力大学,2023.
- [12] 许昌良. 基于混合储能的风光互补发电系统控制研究[C]//上海筱虞文化传播有限公司.Proceedings of 2023 Seminar on New Engineering Technologies and Methods(SNETM 2023). 贵阳:贵州元龙综合能源产业务服有限公司,2023: 65-67.
- [13] KUMAR R, Shivam, PATIL V. Performance analysis of energy storage unit with lead-acid and lithium iron phosphate battery [C]//2022 4th International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE). Shillong, India: IEEE, 2022: 1-6.
- [14] 管雅鹏. 风光互补充电桩供电系统控制策略仿真分析[J]. 今日制造与升级, 2024(6): 80-82.
- [15] 彭金银, 朱香瑾. 风光互补发电系统蓄电池充放电控制研究[J]. 电器工业, 2023(12): 24-26, 32.
- [16] 李巍. 死区效应对风光互补单元逆变器串联发电系统的影响[D]. 兰州:兰州理工大学, 2017.
- [17] BUBALO M, BAŠIĆ M, VUKADINOVIĆ D, et al. Hybrid wind-solar power system with a battery-assisted quasi-Z-source inverter: optimal power generation by deploying minimum sensors [J]. Energies, 2023, 16(3): 1488.
- [18] 曹晓雅. 单级光伏并网高频隔离逆变器及其精确控制技术[D]. 青岛:青岛理工大学, 2023.
- [19] 潘泽铎, 钟炜. 风光互补发电制氢储能系统多目标优化研究[J]. 天津理工大学学报, 2024, 40(1): 37-43.

收稿日期:2024-10-16

(上接第 240 页)

- [3] 王敏, 魏根宝, 王毛翠, 等. SL3 型雨量传感器示值误差测量不确定度评定方法[J]. 气象科技, 2015, 43(1): 65-69.
- [4] 吴枝国, 薛程, 盛益, 等. 基于 PLC 技术的钻井管柱自动输送系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2024, 53(3): 172-176.
- [5] 高桑田, 毛朝斌, 戴科峰, 等. 碳化硅外延设备干扰问题与解决方案[J]. 机电工程技术, 2023, 52(8): 280-283.
- [6] 马利芳. 基于 ARM Cortex 微控制器的便携式无线票据打印机设计[J]. 电子设计工程, 2022, 30(8): 152-155, 160.
- [7] 丁振兴, 刘丽花, 秦国富, 等. 基于 PLC 的大型泵站设备及自动化改造[J]. 电气自动化, 2024, 46(4): 37-40.
- [8] 李飞. 西门子 S7-1200 在安检系统中的设计与应用[J]. 机电产品开发与创新, 2023, 36(5): 27-29.
- [9] 黄飞龙, 邹庆彪, 曾慧明. 高精度电阻应变称重降雨传感器设计[J]. 现代电子技术, 2023, 46(6): 39-43.
- [10] 黄朝干, 黄莲花, 黄显昆, 等. 浅谈基于 PLC 与交互技术的智能电梯综合实训装置的设计与实现[J]. 中国设备工程, 2024(17): 31-33.
- [11] 赵佳萌. S7-200 smart 与三菱 F700 变频器的 Modbus RTU 通信控制实例[J]. 自动化应用, 2024(14): 250-253, 257.
- [12] 施宇豪, 张雄, 周郅杰. 数字电路信号传输抗干扰技术研究[J]. 通信电源技术, 2023, 40(8): 208-210.
- [13] 龚斌. 基于 MCGS 矿用带式输送机监控系统设计[J]. 建井技术, 2023, 44(1): 43-46, 55.
- [14] 魏邦宪, 王晓雷, 杨云芸, 等. 称重式降水传感器现场校准方法研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2021, 38(1): 60-62.

收稿日期:2025-03-05