

垂直轴风力机技术的研究进展及其应用展望

新吉勒图¹ 楚玉浩² 郑福临² 梁英奇² 孙泽江²

1. 通辽市农牧业装备发展中心, 内蒙古 通辽 028000

2. 内蒙古民族大学 工学院, 内蒙古 通辽 028000

[摘要]近年来,垂直轴风力机因其独特的技术优势在可再生能源领域受到广泛关注。文中综述了垂直轴风力机的研究进展,重点探讨其结构优化、气动性能及应用前景,介绍了不同叶型设计对风力机性能的影响,例如U型、H型及新型Senegal式风力机等多种构型的优缺点,针对风能利用率的提升,讨论了多种改进技术及仿真结果,对比了各类叶片的气动性能,通过数值模拟和风洞实验相结合的方法,验证了风力机性能的可靠性。同时,展望了U型垂直轴风力机在石油开采领域、智能控制、材料优化及降本增效等方面的应用潜力。经查阅相关文献和国家政策倡导,我认为随着未来技术的不断进步,垂直轴风力机将成为推动可再生能源利用的重要力量,助力全球能源结构转型和可持续发展。

[关键词]垂直轴风力机;综述;叶型;研究进展;应用展望

DOI: 10.33142/hst.v9i4.19594

中图分类号: TK812

文献标识码: A

Research Progress and Application Prospects of Vertical Axis Wind Turbine Technology

XINJI Letu¹, CHU Yuhao², ZHENG Fulin², LIANG Yingqi², SUN Zejiang²

1. Tongliao Agricultural and Animal Husbandry Equipment Development Center, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

2. School of Engineering, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

Abstract: In recent years, vertical axis wind turbines have received widespread attention in the field of renewable energy due to their unique technological advantages. The article summarizes the research progress of vertical axis wind turbines, focusing on their structural optimization, aerodynamic performance, and application prospects. It introduces the influence of different blade designs on wind turbine performance, such as the advantages and disadvantages of various configurations such as U-shaped, H-shaped, and new Senegal style wind turbines. In order to improve wind energy utilization efficiency, various improvement techniques and simulation results are discussed. The aerodynamic performance of various types of blades is compared, and a method combining numerical simulation and wind tunnel experiments is proposed to verify the reliability of wind turbine performance. At the same time, the potential applications of U-shaped vertical axis wind turbines in the fields of oil extraction, intelligent control, material optimization, and cost reduction and efficiency improvement were also discussed. After reviewing relevant literature and national policy advocacy, I believe that with the continuous advancement of future technology, vertical axis wind turbines will become an important force in promoting the utilization of renewable energy, helping to transform the global energy structure and promote sustainable development.

Keywords: vertical axis wind turbine; overview; leaf shape; research progress; application prospects

引言

近年来,随着全球气候变暖加剧、传统化石能源储量日益枯竭的双重驱动下,能源结构向清洁化、可再生化转型已成为各国实现可持续发展的核心战略。其中风能作为技术最成熟、应用最广泛的可再生能源之一,其开发利用水平直接关系到全球能源转型的进程。在2024年2月29日下午,中共中央政治局就新能源技术与我国的能源安全进行第十二次集体学习,中共中央总书记习近平在主持学

习时强调:“能源安全事关经济社会发展全局。积极发展清洁能源,推动经济社会绿色低碳转型,已经成为国际社会应对全球气候变化的普遍共识。我们要顺势而为、乘势而上,以更大力度推动我国新能源高质量发展,为中国式现代化建设提供安全可靠的能源保障,为共建清洁美丽的世界作出更大贡献。”综上所述,如何更好地推动新能源高质量发展以保障我国能源安全,具有十分重要的理论和现实意义。在风能利用设备中,垂直轴风力机(Vertical

Axis Wind Turbine, VAWT) 凭借不依赖风向、启动风速低、结构紧凑、维护便捷及对复杂风况适应性强等独特技术优势,近年来逐渐打破了水平轴风力机在行业内的主导格局,成为可再生能源领域的研究热点。

1 风力机分类及发展历程

1.1 风力机及其主要分类

风力机是一种能够将风能转化为机械能,再把机械能转化为电能或其他能量的装置。风力机最主要的分类方法有两种:按照风轮转轴与地面的位置分为水平轴风力机(HAWT)和垂直轴风力机(VAWT);按照风力机叶片的工作原理分为升力型风力机(Lift Type)和阻力型风力机(Drag Type)^[1]。水平轴风力机有多翼型、螺旋桨型、涡轮型、帆翼型、荷兰型等;垂直轴风力机有萨涅纽斯型(S型)、达里厄型(H型)、塞内加尔型、弗来纳型、风杯型、U型等。

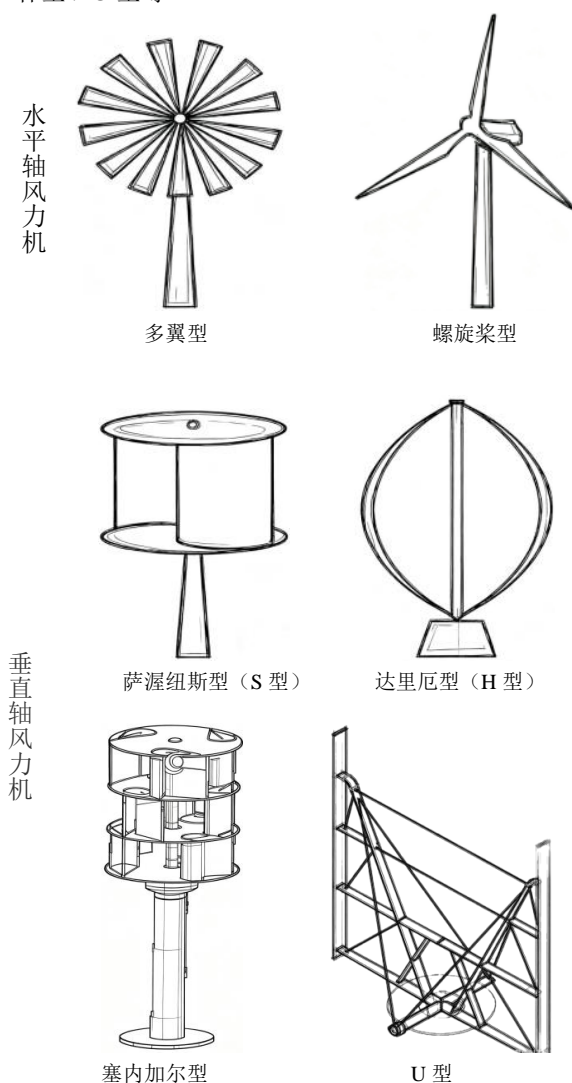


图1 风力机主要分类

1.2 垂直轴风力机的发展历程

风力机作为风能利用的一种重要形式,其历史可以追溯到19世纪。在工业革命之前,早期的风车主要用于磨坊中研磨谷物和深井抽水,而垂直轴风力机由于其独特的结构和工作原理逐渐引起了人们的关注。

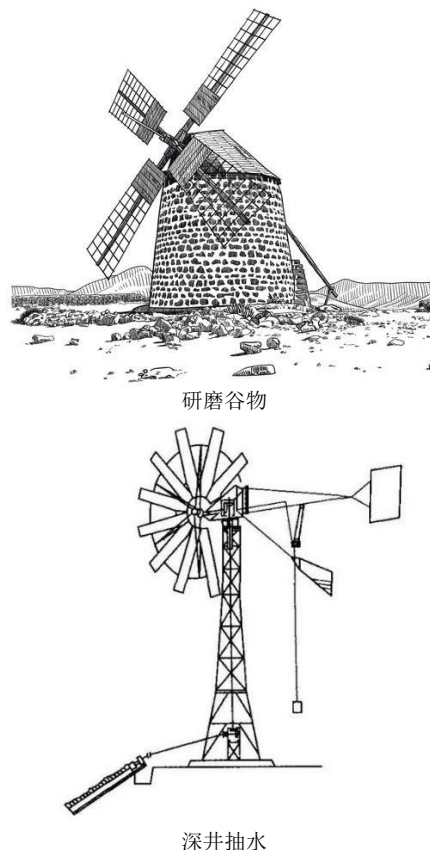


图2 风力机早期用途

与传统的水平轴风力机相比,垂直轴风力机不依赖于风向,其风能捕获能力在一定条件下表现出更好的适应性,尤其是在复杂的气候条件下。进入20世纪后,随着对可再生能源的关注加剧,垂直轴风力机的研究和开发逐渐得到推进,特别是20世纪70年代石油危机后,许多国家开始投资于风能技术的研发。研究者们对多种设计进行了探索,诸如Savonius和Darrieus等多种类型的垂直轴风力机相继被提出并应用于实际中。

近年来,随着科技的不断进步和环境保护意识的提高,垂直轴风力机又迎来了新的发展机遇,通过使用新的材料和制造工艺使得风力机的效率和耐用性显著提升,当前,垂直轴风力机在城市建筑、交通设施、偏远地区离网供电等小型风能应用中展现出越来越大的潜力。

1.3 研究意义

垂直轴风力机技术的进步在理论上具有重要意义,主

要体现在对风能转换效率的提高和气动性能的优化上,近年来,通过对风轮叶片的改进、流体动力学的深入研究以及新型材料的应用,垂直轴风力机的设计理念逐渐向高效、稳定的方向发展。尤其是针对传统风力机存在的风能利用率低、自启动困难等问题,研究者们逐步提出了多样化的解决方案。

通过建立风轮模型、流场分析以及气动性能优化,研究者们能够更准确地预测风力机在不同风速和工作条件下的表现,用理论研究为实际应用提供了科学依据,这样的理论支撑,不仅推动了新型垂直轴风力机的开发,也促进了相关技术的创新与发展,它展现了如何通过理论与实践相结合,推动可持续发展与绿色能源的利用,因此,加强对垂直轴风力机技术进步的理论研究,对提升整个风能利用效率、实现环保目标具有深远的影响。

2 国内研究现状

2.1 国内研究现状

2.1.1 垂直轴风力机结构优化研究

近年来,国内众多学者针对垂直轴风力机存在的结构问题,展开了新型结构设计的研究。程碧懿(2023)为解决垂直轴风力机易断轴、难做大等结构问题,提出U型垂直轴风力机的构型方案,该风力机采用翼型截面的斜置主支撑梁代替垂直主轴,下压式滚轮部件和承载式车体系统有效防止风轮倾覆,经研究U型风轮使用寿命至少是H型的2.34倍,绳索减少约60%的风轮变形,降低了风轮质量^[2]。程碧懿等(2025)建立主支撑构件静力学疲劳分析的数学模型,应用组合变形理论和应力疲劳寿命理论,相比于H型风轮,U型风轮在危险截面的交变应力幅值比小于0.9,使用寿命至少是H型的2.34倍,进一步验证该构型方案可行性^[3]。周阳等(2023)在传统H型风力机基础上设计升阻复合型垂直轴风力机,兼具升力型风能利用率高与阻力型启动风速要求小的优点,并对复合型垂直轴风力发电系统中的塔架进行失稳和强度分析^[4]。

2.1.2 气动性能优化研究

诸多研究聚焦于垂直轴风力机气动性能优化。肖叙鸿(2025)采用数值模拟方法,对垂直轴风力发电机组的气动性能及部分尾流特性展开深入研究。研究发现随着叶尖速比增加,气流产生绕流现象,尾流恢复速度加快,横向影响范围限于风机直径1倍以内;还探讨并列垂直轴风力发电机不同旋转方向对尾流干扰及功率输出影响等,得出反向布局下功率系数最高等结论^[5]。魏明(2022)以升力型垂直轴风力机为对象,采用理论分析及数值模拟方法,验证所用数值模拟方法准确性,研究运行参数对其气动性

能的影响,如不同湍流模型对不同叶尖速比下模拟精度不同,以及翼型几何参数、实度对气动性能的影响等^[6]。耿直等(2022)用FLUENT数值仿真软件对H型垂直轴风力机风轮进行瞬态模拟计算,得到速度、压力、湍动能分布云图,分析其气动特性,发现外界来流风速变化时最大压力差的变化情况^[7]。

2.1.3 叶片结构优化研究

叶片结构优化是提升垂直轴风力机性能的关键。徐贤申(2022)针对鱼摆尾翼型垂直轴风力机,利用数值模拟技术结合响应面法,研究翼型弯度、厚度及安装角度对功率系数的影响,构建响应面回归模型并进行方差分析,优化后风力机在叶尖速比0.3~0.9范围内功率系数提高,流场特性改善^[8]。郭玉彬(2022)以螺旋叶片型Savonius垂直轴风力机为研究对象,构造三维模型及计算域模型,通过CFD数值模拟和风洞试验验证可靠性,提出七种改进叶型,优化后的第三种叶型有效提高风能利用率^[9]。王磊等(2022)提出新型C型叶片,基于CFD分析在风力机实度和叶尖速比不变时,C型叶片和初始安装角对垂直轴风力机的影响,得出突出度为15mm时功率系数取最大值等结论^[10]。

2.2 研究评述

综合以上对国内研究文献的归纳与分析,目前国内学者对垂直轴风力机技术的研究集中在其气动性能、结构设计以及应用优化等领域,并在这些领域取得了丰富的研究成果:从理论建模、实验验证以及数值模拟等角度研究了风力机性能提升的问题,为垂直轴风力机的发展提供了丰富的理论基础与实践经验。国内学者大部分赞同通过改进叶型设计和增强结构稳定性来提升垂直轴风力机的发电效率,认为要发展该技术需要从材料创新、控制系统优化以及使用环境适应性等方面切入,认为与传统风力机相比,垂直轴风力机在低风速条件下的启动性能优越,强调需要在风能资源合理利用和环境友好型设计中进行探索与创新。

总体来说,研究集中于气动性能优化和工业应用领域,在实践研究方面也集中于新能源和清洁能源行业的案例,并与政策制定者和企业群体进行了大量研究。目前国内针对环境适应性与经济性等方面的事件研究,其所研究的案例类型、行业类型和人群类型在技术应用层面都比较多,而在社会接受度和公众认知的研究则相对较少。国内学者对风力机气动理论、结构解析和经济性评估的研究,为理论的发展提供了丰富的基础,也在新能源行业及公众接受度提升等方面提供了大量的案例研究参照,对垂直轴风力机的理论和实践发展起到了重要的推动作用,同时也是本

文进行有关案例研究的理论参考和对策参照。

3 总结与展望

研究表明,U型垂直轴风力机通过在结构上进行优化,能够有效解决传统垂直轴风力机存在的易断轴、启动困难以及低效率等问题。研究成果指出,U型风轮在风能利用率、抗倾覆性能以及疲劳寿命等方面均相较于传统H型风力机显著改善。随着对垂直轴风力机气动性能的深度分析,数值模拟和实验相结合的研究方法为进一步提高风力机的性能提供了重要依据。大量的实验和仿真结果显示,优化的叶片结构和新型的升阻复合型设计可在不同风速下保持较高的发电效能,拓宽了垂直轴风力机的适用范围和应用潜力。垂直轴风力机技术的发展前景广阔,相关理论与实证研究的不断深入,将为未来的产业化应用提供更多的支持和指导。研究者们应继续探索新型构型和优化策略,以实现更高效、经济和实用的风力发电解决方案。随着全球对可再生能源的重视,垂直轴风力机的技术研究和应用前景逐渐显现。未来的研究应集中在提升风能利用效率和结构优化上,以实现更高的发电效率。借助新材料的学习优化算法的应用,可以实现风力机性能的精准预测和动态调节,从而进一步提升其综合效益。在实际应用方面,垂直轴风力机的设计可以考虑与城市建筑的结合,VAWT因其低噪音和美观的特性,可以融入城市景观中,较大程度上减少对环境的影响,以实现“建筑一风电”的新型城市生态布局。

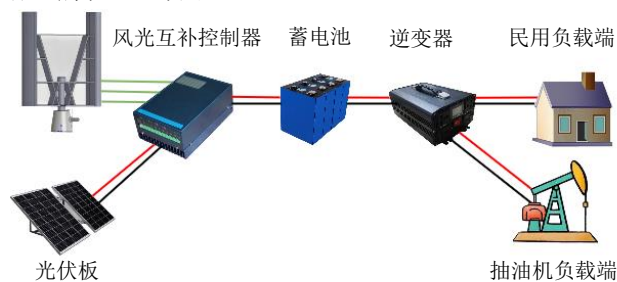


图3 民用、油田地区离网供电示意图

另外,在油田应用领域,面对以传统电力供能为主的形势,可开发研制多种能源供能的新型节能抽油机,通过

液压能、风能与光能互补的形式作为抽油机供能的主要能量来源,配合传统电力能源共同驱动抽油机,实现油田节能,且此类设备将特别适用于缺电、少电而风光资源丰富的地区,如油田、沿海和高原地区将是VAWT发展的重要市场,适合大规模开发。

基金项目:内蒙古自治区科技成果转化引导项目(2020CG0085);内蒙古民族大学科学技术研究项目(KYQD24004)。

[参考文献]

- [1]莫秋云,郭荣滨,刘艳艳,李乐,李志扬,王国强.直线翼垂直轴风力机叶片优化设计研究[J].机械设计与研究,2022,38(1):229-235.
- [2]程碧懿,屈孝斌,周智明,魏炯辉,姚英学.U型垂直轴风力机的概念及其可行性研究[J].太阳能学报,2025,46(7):328-335.
- [3]肖叙鸿.H型垂直轴风力机组气动性能研究[D].湖南:中南林业科技大学,2025.
- [4]赵斌斌.海上浮式垂直轴风力机流体动力特性规律研究[D].江苏:盐城工学院,2025.
- [5]李争,赵龙,张杰,等.新型Senegal式垂直轴风力机结构优化设计[J].河北科技大学学报,2024,45(6):609-617.
- [6]程碧懿.U型垂直轴风力机的构型设计及其性能的研究[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2023.
- [7]周阳,李超,倪国林,等.新型升阻复合型垂直轴风力机结构设计[J].机械工程与自动化,2023(2):92-96.
- [8]徐贤申.鱼摆尾翼型垂直轴风力机结构优化研究[D].河南:河南科技大学,2022.
- [9]郭玉彬.螺旋叶片型Savonius垂直轴风力机气动特性研究[D].河北:河北科技师范学院,2022.
- [10]魏明.升力型垂直轴风力机气动性能数值模拟研究[D].四川:西华大学,2022.

作者简介:新吉勒图(1967—),男,农业技术推广研究员,研究领域为农牧业机械化智能化、农业生物环境与能源工程。