

表达。

苦瓜素则通过激活 AMPK 通路，增强胰岛素敏感性。AMPK 作为能量传感器，在低能量状态下被激活，促进葡萄糖摄取与脂肪酸氧化。苦瓜素可模拟能量缺乏信号，直接激活 AMPK α 亚基的苏氨酸 172 位点磷酸化，启动下游信号转导。这一过程不仅增加骨骼肌与脂肪组织对胰岛素的响应，还通过抑制肝脏糖异生相关酶的活性，减少血糖生成。此外，AMPK 激活可促进线粒体生物合成，提升细胞能量代谢效率。代谢调节机制的精准性，使保健食品在糖尿病、肥胖及心血管疾病的预防中具有科学依据，其作用靶点涵盖从分子到器官的多层次代谢网络。

3 保健食品市场监管法律

3.1 保健食品市场准入法律规范

保健食品市场准入法律规范的核心在于建立严格的注册与备案制度，确保产品安全性和功效宣称的科学性。我国《保健食品注册与备案管理办法》明确规定，保健食品需通过国家市场监督管理总局的注册或备案程序方可上市销售。注册制度适用于声称具有特定保健功能的产品，要求申请人提交安全性、保健功能和质量可控性等方面的研究报告及试验数据。这一过程涉及毒理学试验、人体试食试验和功效成分检测，确保产品不会对人体产生急性、亚急性或慢性危害，同时其宣称的保健功能需有充分的科学依据。备案制度则针对营养素补充剂类产品，要求申请人提交产品配方、生产工艺和标签说明书等材料，经形式审查后即可完成备案。^[4] 两种制度并行，既保证了高风险产品的严格监管，又提高了低风险产品的市场准入效率。

3.2 保健食品生产经营过程监管

保健食品生产经营过程监管涵盖原料采购、生产加工、包装储存和运输销售等全链条环节，旨在确保产品质量的一致性和稳定性。在原料采购环节，法律要求企业建立供应商审核制度，对原料供应商的资质、生产能力和质量管理体系进行评估，确保原料来源合法、质量可靠。企业需对每批原料进行检验，检验项目包括感官指标、理化指标和微生物指标等，不合格原料不得投入生产。生产加工环节是监管的重点，法律要求企业按照良好生产规范（GMP）组织生产，建立完善的生产记录和追溯体系。生产车间需符合洁净度要求，生产设备需定期清洗消毒，防止交叉污染。企业还需对关键控制点进行监控，如原料投料量、混合均匀度和灭菌效

果等，确保产品符合质量标准。

3.3 保健食品广告与宣传法律约束

保健食品广告与宣传法律约束的核心在于防止虚假宣传和误导消费者，维护市场秩序和公众健康。我国《广告法》和《保健食品广告审查暂行规定》明确规定，保健食品广告不得含有表示功效、安全性的断言或保证，不得涉及疾病预防、治疗功能，不得声称或暗示广告商品为保障健康所必需。这些规定有效遏制了企业通过夸大宣传吸引消费者的行为，保护了消费者的知情权和选择权。广告内容需经省级市场监督管理部门审查批准后方可发布，审查内容包括广告脚本、宣传用语和证明材料等。未经审查或审查不合格的广告不得发布，否则将面临行政处罚。

在宣传方式上，法律禁止企业通过会议、讲座和健康咨询等方式进行虚假宣传。这些场所往往成为非法营销的重灾区，企业通过赠送礼品、组织旅游等手段诱导消费者购买产品。法律要求企业在宣传活动中需如实介绍产品信息，不得夸大功效或贬低其他产品。此外，法律还禁止企业利用医疗机构、科研单位和学术机构的名义或形象作证明，防止消费者因信任权威机构而盲目购买产品。监管部门通过监测广告发布平台、受理消费者投诉和开展专项整治行动等方式，对违法广告和宣传行为进行打击。对于情节严重的违法行为，监管部门可吊销企业广告发布资格或产品批准文号，直至追究刑事责任。这些法律约束措施共同构建了保健食品广告与宣传的规范体系，促进了市场的健康发展。

4 结语

保健食品功效成分的研究正从单一成分向复合配方发展，如多糖与益生菌联用可协同增强免疫效果；纳米包裹技术提升成分稳定性，延长作用时间。然而，行业仍面临标准缺失、功效评价体系不完善等问题。未来需结合基因组学、代谢组学技术，建立个性化营养干预方案，推动保健食品向精准化、功能化方向转型。

参考文献

- [1] 李丹,谢林云. 保健食品中粗多糖功效项目的理化检测方法研究[J].中外食品工业,2024,(14):90-92.
- [2] 史敏. 保健食品功效成分检测技术与方法[J].食品安全导刊,2023,(32):166-168.
- [3] 闫文杰. 保健食品的研发与检测新动态[J].食品安全质量检测学报,2021,12(11):4400-4401.
- [4] 贾鸿莹. 保健食品市场监管法律问题研究[D].黑龙江大学,2020.

Research on Differences in DC Conversion Routes and Optimization Methods for Wind Turbines

Chao Wang

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China

Abstract

The production of green hydrogen through renewable energy is flourishing in the global energy transition, while the efficient utilization of wind power faces increasingly stringent demands. Consequently, the conversion of wind turbines to direct current systems has emerged as a critical research direction for integrating wind power with green hydrogen production. This paper focuses on comparing the principles, advantages, and limitations of three major technical approaches for conversion: full-power converters, DC parallel aggregation, and hybrid systems. It then establishes a comprehensive four-dimensional evaluation index system that integrates technical feasibility, economic efficiency, reliability, and site adaptability. Additionally, a hierarchical decision-making method combining qualitative and quantitative approaches is proposed, aiming to provide a theoretical framework and evaluation basis for decision-making on conversion solutions for wind farm stakeholders, thereby promoting standardized and efficient application of this technology.

Keywords

Fan retrofit; DC conversion; technical route; full-power converter; DC aggregation

风机直流改造路线差异与优选方法研究

王超

山东电力工程咨询院有限公司, 中国·山东 济南 250100

摘要

绿电制氢在全球能源转型中蓬勃发展, 风电高效利用面临更高要求, 风机直流改造随之成为衔接风电与绿电制氢的关键研究方向。本文重点对比全功率变流器、直流并联汇集、混合型三大改造技术路线的原理、优势与局限性, 进而构建融合技术性、经济性、可靠性、场站适配性的四维度综合评价指标体系, 并提出层次化、定性与定量结合的优选决策方法, 旨在为风电场相关方的改造方案决策提供理论框架与评判依据, 推动该技术规范化、高效化应用。

关键词

风机改造; 直流化; 技术路线; 全功率变流器; 直流汇集

1 引言

风力发电作为技术最成熟、规模化程度最高的可再生能源之一, 在我国能源结构转型中扮演着举足轻重的角色。随着绿电制氢产业在全球能源转型浪潮中蓬勃发展, 风电能源的高效利用面临更严苛且多元的要求, 风机直流改造由此成为衔接风电与绿电制氢的关键且重要的研究方向, 也遇到了很多问题: 其一, 其并网特性较弱, 缺乏有效的功率与电压支撑能力, 在直流电网发生故障时极易脱网, 威胁电网安全稳定运行; 其二, 运行效率与电能质量有待提升, 特别是在非额定风速下, 能量捕获效率较低^[1]。

风机直流改造并非单一技术方案, 而是根据原有机型、改造目标、预算约束和风电场具体情况的不同^[2], 衍生出多

种技术路线。这些路线在技术复杂度、改造深度、初始投资、长期收益等方面存在巨大差异。若选择不当, 可能导致改造成本远超预期、性能提升不达标, 甚至引发新的技术问题。因此, 系统性地梳理各技术路线的内在差异, 并建立一套科学、普适的优选方法, 对于指导工程实践、规避投资风险、确保改造效果具有至关重要的理论价值与现实意义^[3]。

2 风机直流改造主流技术路线及其差异分析

风机直流改造的本质是将原有的交流发电机、交流并网系统, 通过电力电子变换装置, 转变为以直流电形式输出并汇集的系统。根据改造的深度、拓扑结构及核心设备的不同, 可将其归纳为以下三大主流技术路线。

2.1 路线一: 基于全功率变流器的深度改造路线

技术原理与架构: 该路线通常采用永磁同步发电机或电励磁同步发电机。在直流改造场景下, 会针对性保留并优化 AC/DC 模块功能, 不仅能高效将风机发电系统输出的三

【作者简介】王超 (1984-), 男, 中国山东济南人, 本科, 工程师, 从事工程管理研究。

相交流电整流为直流电，还可通过内置的滤波单元降低直流侧谐波干扰。后续再由高频隔离型 DC/DC 模块完成直流升压操作，将电压等级精准匹配绿电制氢电解槽的额定输入要求。整个改造过程直接省略了原有变流器中用于并网的网侧 DC/AC 环节，且无需对风机主轴、传动齿轮箱等核心机械部件进行大幅调整，从结构上实现了“最小改动量”，同时保障了电力变换的稳定性。

优势分析：结构简单，改动小：省去网侧 DC/AC 环节后，变流器整体体积缩减，设备布局更紧凑；改造仅涉及变流器内部模块替换与线路调整，无需拆解风机机舱外壳或调整传动系统，施工周期可缩短，尤其适合已投运风机的原位改造，降低对风电场所发电量的影响。效率较高：减少一次交直流变换后，可降低能量传递过程中的损耗。可靠性较好：设备故障点集中在变流器模块，相较于双馈风机的“定子+转子+变流器”多系统故障模式，其故障排查时间更短。且全功率变流器采用模块化设计，单个 AC/DC 模块故障时可快速更换，不影响整体运行，保障制氢系统日均运行时长稳定。

局限性分析：成本相对较高：永磁半直驱风机的永磁体成本占发电机总成本的比例高，且全功率变流器的 IGBT 模块数量比双馈变流器更多，导致单台改造初始投资比双馈方案高；同时，永磁体存在高温失磁风险，需额外配置温度监控系统，进一步增加运维成本。机型灵活性稍逊：其额定转速区间固定，在风速波动较大的区域，难以通过调整转速适配风能变化。当风速骤降时，无法快速降低转速以维持输出电压稳定，需依赖 DC/DC 模块频繁调节电压，导致电压波动幅度比双馈方案更高，可能影响电解槽的电极寿命。

2.2 路线二：基于交流侧改造与直流并联汇集的适度改造路线

技术原理与架构：保留原有的异步发电机或同步发电机及其励磁系统。在每一台或每一组风机的交流输出端，增设一台“AC/DC”变换器。该整流单元将风机发出的变频变压的交流电转换为稳定的直流电。多台风机输出的直流电通过直流电缆并联至一条公共的直流母线上，形成直流汇集网络。

优势分析：该改造方案针对性强，最大限度地保留了

风机原有的发电核心部件，从而有效降低了改造成本和工程实施的复杂度。改造后的风电场整体灵活性得到了显著提升，主要得益于直流汇集系统的采用，这一系统有效消除了风机之间的无功功率耦合和同步问题，使得每台风机都能够独立运行在其最佳功率点，从而提高整体发电效率。

局限性分析：该改造方案对于单机性能的提升具有一定的局限性，因为它并未改变发电机本体的控制特性。因此，单台风机的功率控制精度和低电压穿越能力等动态性能的改进，在很大程度上依赖于前端 AC/DC 变换器的容量和控制能力。需要精心设计控制策略以协调分散的整流单元与集中的逆变器之间的功率平衡，这进一步增加了系统的控制难度。

2.3 路线三：基于混合型改造的折中路线

技术原理与架构：该路线同样保留原有机组，但在 AC/DC 变换环节采用更先进、更具功能性的拓扑结构。例如，采用具备双向功率流动能力和自清除故障功能的模块化多电平换流器作为整流单元，或者在对拖式风电机组的转子侧和网侧同时进行改造，构建一个部分功率的直流化通道。其核心思想是通过提升关键节点的电力电子装备水平，来弥补路线二在动态性能上的不足。

优势分析：性价比可能更优：在不过度增加成本的前提下，相比路线二，能获得更接近路线一的动态性能，如更好的故障穿越能力和电能质量。技术灵活性高：可以根据具体的性能短板和预算，灵活选择改造的“深度”和“广度”，实施分阶段改造策略，为未来升级预留空间：模块化的设计便于未来技术升级或容量扩展。

局限性分析：技术复杂度最高：控制策略最为复杂，需要解决新旧系统之间、不同拓扑之间的电磁暂态协调问题。工程实践案例较少：相较于前两种路线，混合型路线仍处于探索和示范应用阶段，缺乏大规模应用的成熟经验和可靠性数据，潜在风险较高。方案设计非标准化：难以形成标准化方案，通常需要“一机一策”或“一场一策”的定制化设计，对设计单位的技术能力要求极高。

2.4 三大技术路线的核心差异对比

为清晰展示差异，总结如下表所示：

对比维度	路线一：全功率变流器改造	路线二：直流并联汇集改造	路线三：混合型改造
改造核心	保留全功率变流器，省略 DC/AC 模块	增加 AC/DC 整流器，新建直流汇集网	采用先进拓扑，部分系统深度改造
改造深度	较少，不涉及核心部件	较高，主要改造并网环节	中等或可调，介于二者之间
性能提升	最全面，单机性能卓越	有限，主要提升场站级性能	较全面，可针对性提升短板
初始投资	较高	较低	中等，取决于方案
技术风险	较低（技术成熟）	中等	较高
适用场景	机组老旧需彻底更新，或对并网要求极高	机组状态良好，希望降低集电损耗、提升场站可控性	对成本和性能有平衡需求，具备较强技术能力的业主