

风电场风力发电机组老旧设备治理探究

王相菊

国华蒙东（内蒙古）新能源有限公司开鲁分公司 内蒙古 通辽 028000

摘要：在我国风电事业跨越式发展的进程中，早期投运的风电场风力发电机组历经多年运行，逐渐步入“老龄化”阶段。本文围绕风电场风力发电机组老旧设备治理展开探究，分析了治理工作的必要性，包括提升经济效益、保障安全稳定运行及促进行业可持续发展。同时，指出老旧设备存在老化严重、发电效率降低、故障频发、安全隐患增多等现状，并从技术改造、设备更新、运维管理优化及全生命周期管理等方面提出治理策略，为风电场老旧设备治理提供参考，助力风电行业高效可持续发展。

关键词：风电场；风力发电；机组老旧；设备治理

引言：随着风电行业的快速发展，早期投运的风力发电机组逐渐进入老旧设备阶段。这些设备因运行年限长、技术迭代滞后等问题，面临着老化加速、发电效率下滑、故障频率升高及安全风险加剧等挑战，不仅影响风电场的经济效益，也对其安全稳定运行构成威胁。在此背景下，开展风电场风力发电机组老旧设备治理工作显得尤为迫切。通过科学有效的治理措施，不仅能提升设备性能、降低运维成本，还能延长设备使用寿命、减少资源浪费，符合行业可持续发展的要求。

1 风电场风力发电机组老旧设备治理的必要性

1.1 提升风电场经济效益

老旧风力发电机组因部件老化、技术落后，发电效率大幅下降，单位电量成本显著上升。同时，频发的故障导致停机时间增加，直接减少发电量，而高昂的维修费用和备件采购成本进一步压缩利润空间。通过治理，可恢复或提升设备发电效率，降低故障发生率与运维成本，减少非计划停机时间，从而增加发电量与收益，显著改善风电场的经济指标，提升市场竞争力。

1.2 保障风电场安全稳定运行

老旧设备的关键部件如叶片、传动系统等老化后，性能下降，易出现断裂、卡阻等严重故障，可能引发设备损坏、火灾甚至人员伤亡等安全事故。此外，控制系统老化可能导致运行不稳定，影响电网接入质量，引发电网波动。治理工作能及时排查并消除安全隐患，确保设备在规范参数内运行，保障风电场生产安全与电网稳定，为人员与设备安全提供坚实保障。

1.3 促进风电行业可持续发展

风电作为清洁能源，是实现“双碳”目标的重要力量。大量老旧设备效率低下、能耗偏高，不符合绿色发展要求，且退役后若处理不当会造成资源浪费与环境污

染。治理工作通过技术改造、设备更新及全生命周期管理，提升能源利用效率，推动废旧设备回收再利用，减少碳排放与资源消耗，助力行业技术升级，为风电行业的长期健康、可持续发展奠定基础^[1]。

2 风电场风力发电机组老旧设备现状

2.1 设备老化严重

运行多年的风力发电机组，各部件普遍呈现老化迹象。叶片长期暴露在自然环境中，经风沙冲刷和紫外线照射，表面逐渐出现裂纹，内部结构也可能发生分层；齿轮箱、发电机等转动部件因长期运转，润滑效果下降，磨损程度不断加深；接触器、传感器等电气元件受环境因素影响，出现氧化现象，性能持续衰减。此外，部分设备的结构件存在锈蚀问题，连接螺栓也有松动情况，导致整体机械性能和电气稳定性明显下滑。

2.2 发电效率降低

老旧机组受限于早期设计，风速适应范围较窄，难以应对复杂多变的风况。叶片因老化导致气动性能受损，对风能的捕获能力减弱；传动系统在长期运行中机械损耗加大，能量转换效率降低；控制系统反应迟缓，无法根据实时风况对机组运行参数进行及时优化，使得实际发电量与设计预期存在较大差距，难以达到当前风电场对能效的要求。

2.3 故障频发，运维成本高

由于设备老化以及技术逐渐过时，老旧机组故障出现的频率明显增加。齿轮箱漏油、发电机过热、变桨系统卡滞等问题时常发生，导致机组非计划停机现象增多。同时，部分老旧设备的备件已停止生产，采购时面临诸多困难，且成本较高，加上维护人员对老旧技术的熟悉程度不足，使得维修所需时间延长，运维成本随之攀升，对风电场的利润造成较大影响。

2.4 安全隐患增多

老旧设备的安全防护能力逐渐退化，潜藏着不少安全风险。叶片上的裂纹若持续发展，可能导致断裂坠落，对周边人员和设施的安全构成威胁；制动系统老化后，机组可能出现超速失控的情况，存在飞车危险；电气系统的绝缘性能因老化下降，容易发生短路，甚至引发火灾；塔架基础在长期受力不均衡的情况下，可能出现沉降、倾斜现象，影响整体结构的稳定性，给风电场的安全生产带来极大压力^[2]。

3 风电场风力发电机组老旧设备治理策略

3.1 技术改造

3.1.1 叶片改造

针对老旧叶片出现的裂纹、分层及气动性能下降等问题，可采用复合材料修补技术对受损部位进行加固，填充裂纹并增强叶片结构强度，防止损伤进一步扩散。同时，通过表面涂层升级，选用耐紫外线、抗风沙侵蚀的新型涂料，减少自然环境对叶片的持续损耗。对于气动性能衰减的叶片，可通过空气动力学优化，如增加翼型小翼、调整叶片弧度等方式，提升风能捕获效率。此外，对叶片内部结构进行轻量化改造，采用高强度轻质材料替换老化部件，在保证强度的前提下降低叶片负荷，延长其使用寿命。

3.1.2 控制系统升级

老旧机组的控制系统存在响应滞后、参数调节不精准等问题，需引入智能化控制技术进行升级。可更换新型传感器与数据采集模块，提升对风速、转速、温度等运行参数的监测精度与实时性。通过植入先进的控制算法，如基于机器学习的风况预测模型，使系统能根据实时风况自动优化运行参数，实现机组的自适应调节。同时，搭建远程监控平台，将机组运行数据实时传输至控制中心，便于运维人员远程诊断与调控，减少人工干预，提升控制效率。此外，升级硬件设备，如更换高性能控制器与通讯模块，增强系统的运算能力与稳定性。

3.1.3 传动系统优化

传动系统的老化会导致机械损耗增加、运行效率下降，需从结构与润滑两方面进行优化。对于齿轮箱，可采用齿面硬化处理技术，增强齿轮耐磨性，同时更换高精度轴承，减少传动过程中的摩擦损耗。针对润滑效果下降的问题，引入智能润滑系统，根据运行状态自动调节润滑油的供给量与更换周期，确保传动部件处于良好润滑状态。此外，对传动轴进行动平衡校正，减少因不平衡运转产生的振动与噪音，降低部件磨损速度。对于老化严重的联轴器等部件，采用柔性连接技术进行替

换，提升传动系统的缓冲性能，减少冲击载荷对设备的损伤

3.2 设备更新

3.2.1 关键部件更换

对于老化程度较深但主体结构仍可利用的机组，针对性更换关键部件是高效的治理方式。在电气系统中，替换老化严重的变流器、接触器等元件，这些部件性能衰减会直接影响电力转换效率与运行稳定性，新元件能提升电能质量并降低短路风险。在动力系统里，对磨损超标、故障频发的齿轮箱、发电机等核心部件进行更换，选用适配当前技术标准的新型号，可减少机械损耗并提升动力传输效率。此外，对于制动系统中的刹车片、液压元件等安全关键部件，需按规范及时更换，确保其制动性能达标，避免因部件失效引发安全事故。

3.2.2 整机更新

当机组运行年限过长、整体老化严重，且技术改造和关键部件更换已无法满足能效与安全要求时，需进行整机更新。选择符合当前技术标准的新型机组，其在风能利用效率、智能化控制水平、安全防护性能等方面均有显著提升，能有效提高风电场的发电量和运行稳定性。在更新过程中，需结合风电场的风资源条件、电网接入要求等因素，科学选型适配的机型，确保新机组与场地环境和电网系统相匹配。同时，对退役机组进行规范的拆解和回收处理，对可利用的部件进行资源化再利用，对废弃物进行环保处置，减少对环境的影响，实现设备更新过程的绿色可持续。

3.3 运维管理优化

3.3.1 建立状态监测系统

针对老旧设备故障预警能力不足的问题，需构建全面的状态监测系统。在机组关键部位安装振动、温度、压力等多种传感器，实时采集设备运行数据，如齿轮箱振动频率、发电机绕组温度、液压系统压力等。通过数据传输网络将采集到的信息汇总至中央处理平台，利用数据分析技术对设备状态进行评估，识别潜在故障征兆。系统可设置多级预警机制，当监测数据超出正常范围时，自动发出警报并推送至运维人员，便于及时采取应对措施。同时，结合历史运行数据建立设备状态评估模型，实现对设备剩余寿命的预测，为运维决策提供科学依据。

3.3.2 优化运维策略

改变传统的定期维护模式，推行基于设备状态的预测性维护策略。根据状态监测系统提供的设备实时状态数据，制定个性化的维护计划，避免过度维护或维护不

足。对于故障高发部件，增加监测频次和维护力度；对于状态稳定的设备，适当延长维护周期，减少不必要的停机时间。合理规划维护资源，统筹安排维护人员、工具和备件，提高维护工作的效率。此外，建立故障应急处理机制，明确不同故障类型的处理流程和责任人，确保故障发生后能快速响应、及时修复，最大限度降低故障对机组运行的影响。

3.3.3 加强人员培训

针对老旧设备技术特性及运维人员技能短板，开展系统性的培训工作。培训内容涵盖老旧设备的结构原理、常见故障诊断与排除方法、新型监测设备和维护工具的使用等方面。通过理论授课、实操演练、案例分析等多种培训形式，提升运维人员对老旧设备的熟悉程度和操作技能。定期组织技能考核和技术交流活动，激励运维人员不断学习和提升专业能力。同时，邀请设备厂家技术人员或行业专家进行专题讲座，介绍老旧设备治理的先进技术和经验，拓宽运维人员的视野，提高其解决复杂问题的能力，为老旧设备的高效运维提供人才保障。

3.4 全生命周期管理

3.4.1 从设计源头考虑设备可维护性和可持续性

在风力发电机组设计阶段，需将可维护性和可持续性作为核心指标融入方案。可维护性方面，采用模块化设计，使各部件便于拆装，减少维护时的操作难度和时间成本；合理布局关键组件，预留充足的检修空间，方便工具使用和人员操作；选用通用化、标准化的接口和备件，降低后期维护的备件采购难度。可持续性方面，优先选用环保、可回收的材料，减少设备全生命周期的环境负荷；设计时考虑设备的升级潜力，预留技术改造空间，便于后期融入新型技术；结合风电场的长期规划，确保设备性能与场地风资源特性长期匹配，延长设备的经济寿命。

3.4.2 建立设备档案，跟踪设备全生命周期状态

为每台风力发电机组建立完整的设备档案，记录从出厂、安装、调试到运行、维护、改造的全生命周期信息。档案内容应包括设备基本参数、出厂检验报告、安装调试记录、历次维护保养详情、故障处理记录、零部

件更换信息等。借助信息化管理系统对档案进行动态更新，实时录入设备的运行数据、状态评估结果和维护操作记录。通过对档案数据的分析，可清晰掌握设备的性能变化趋势、故障规律和维护需求，为制定合理的运维计划、改造方案和退役决策提供依据。同时，档案还能为设备的质量追溯、责任认定和技术改进提供原始数据支持，提升设备管理的精细化水平。

3.4.3 做好设备退役后的回收和再利用

当风力发电机组达到退役年限或因性能不达标需淘汰时，需制定规范的回收处理流程，实现资源的高效利用和环境的有效保护。首先对退役设备进行全面评估，将仍具有使用价值的部件，如状态良好的发电机、控制系统模块等，进行检测、修复和翻新后，用于同类型老旧设备的维修或改造，降低备件成本。对于无法再利用的部件，进行分类拆解，将金属、复合材料等可回收材料送至专业回收企业进行资源化处理，减少固体废物的产生。对于含有有害物质的部件，如液压油、电池等，按照环保标准进行专门处置，防止污染环境。通过建立完善的退役设备回收利用体系，实现风电设备全生命周期的绿色闭环管理^[3]。

结束语

综上所述，风电场风力发电机组老旧设备治理是一项系统性工程，关乎经济效益、安全运行与行业可持续发展。通过技术改造、设备更新、运维优化及全生命周期管理等多维度策略，既能破解设备老化、效率下滑等现实难题，又能为风电行业高质量发展筑牢根基。未来，需持续深化治理理念，结合技术创新与管理升级，推动老旧设备治理常态化、精细化，助力风电在能源转型中发挥更大作用，为实现“双碳”目标提供坚实支撑。

参考文献

- [1]赵宝.分析风电场电气设备中风力发电机运行故障及维护[J].电气技术与经济,2022(04):122-124.
- [2]张媛.风电场电气设备中风力发电机的运行维护策略[J].电子技术与软件工程,2022(22):223-225.
- [3]肖红军.风电场电气设备中风力发电机的运行维护措施[J].决策探索(中),2022(03):52.