

光伏电站的电力系统运行优化研究

王波¹ 杜瑞宇² 张旭³

1. 三峡陆上新能源投资有限公司 内蒙古 呼和浩特 010010

2. 商都县天润风电有限公司 内蒙古 乌兰察布 013400

3. 内蒙古库布其光氢治沙新能源有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017400

摘要: 随着能源转型步伐的加快,光伏电站蓬勃发展。本文聚焦于光伏电站的电力系统运行优化研究。首先阐述光伏电站系统构成与运行原理,接着深入剖析影响其运行效率的关键因素,包括组件性能退化、逆变器故障、线路老化损耗、环境因素以及运行监测与管理不足等。随后提出一系列切实可行的优化策略,涵盖预测与决策耦合、储能与需求侧协同、运行规则与市场机制协同、传输配电协同治理、构建统一数字化平台、优化组件设备配置、完善清洁维护策略等方面,旨在提升光伏电站电力系统的运行效率与稳定性,推动光伏产业可持续发展。

关键词: 光伏电站; 电力系统; 运行优化; 效率提升

引言: 在全球能源转型与可持续发展的大背景下,清洁能源的开发与利用成为关键。光伏发电作为清洁能源的重要形式,凭借其资源丰富、分布广泛、无污染等优势,在能源领域占据愈发重要的地位。近年来,光伏电站建设规模不断扩大,然而,其电力系统运行过程中仍面临诸多挑战,运行效率有待提升。深入研究光伏电站电力系统运行优化策略,不仅有助于提高光伏发电的可靠性与经济性,降低发电成本,还能促进能源结构的优化调整,对实现全球能源可持续发展目标具有深远意义,因此成为当前能源领域的研究热点。

1 光伏电站系统构成与运行原理

1.1 系统构成

光伏电站系统是一个复杂且有序的整体,主要由光伏阵列、逆变器、汇流箱、配电柜、储能装置(部分电站配备)以及监控系统等关键部分构成。光伏阵列作为核心发电单元,由大量光伏组件串联或并联组成,负责将太阳能直接转化为直流电能。汇流箱用于汇集光伏阵列输出的直流电,减少线路损耗并便于管理。逆变器则将直流电转换为交流电,以适配电网要求或供负载使用。配电柜承担着电能分配、保护与控制的重要职责,确保电力安全稳定传输。储能装置可在光照充足时储存多余电能,在光照不足或用电高峰时释放,提升电站供电的连续性与稳定性^[1]。

1.2 运行原理

光伏电站运行基于光伏效应原理。当太阳光照射到光伏组件上时,组件内的半导体材料吸收光子能量,使电子获得足够能量从价带跃迁至导带,从而产生电子-空穴对。在内部电场作用下,电子和空穴分别向不同方向

移动,形成直流电流。众多光伏组件组成的阵列将直流电汇集后输送至逆变器,逆变器运用电力电子技术,将直流电转换为频率、电压符合电网标准的交流电。若电站配备储能装置,在发电功率大于负载需求时,多余电能经充电控制器储存于电池中;当发电功率不足时,电池通过放电控制器向负载供电。

2 影响光伏电站运行效率的关键因素

2.1 组件性能退化

光伏组件作为光伏电站的核心发电部件,其性能退化会严重影响电站运行效率。在长期使用过程中,组件会受到多种因素影响而出现性能下降。紫外线长期照射会使组件封装材料老化,导致透光率降低,减少对太阳光的吸收,进而降低发电能力。温度变化也会对组件产生不利影响,高温会加速组件内部材料的衰减,使组件的转换效率降低。此外,灰尘、污垢等覆盖在组件表面,会阻挡太阳光入射,减少光吸收量。而且,一些不可预见的外力冲击,如冰雹撞击、强风刮擦等,可能造成组件出现隐裂、破损等问题,破坏组件的内部结构,使组件的发电性能大幅下降,从而影响整个光伏电站的发电效率和稳定性。

2.2 逆变器故障

逆变器在光伏电站中起着将直流电转换为交流电的关键作用,其故障会直接导致电站运行效率降低。逆变器内部包含众多电子元器件,如功率开关管、电容、电感等,这些元器件在长时间运行后,会因发热、老化等原因出现性能下降甚至损坏的情况。例如,功率开关管损坏会导致逆变器无法正常进行电能转换,使部分光伏阵列的发电无法输出。同时,逆变器的控制电路如果出

现故障,如传感器失灵、控制芯片程序错误等,会影响逆变器对输出电压、频率等参数的精确控制,导致输出的交流电不符合电网要求,不仅会造成电能浪费,还可能引发安全事故,严重影响光伏电站的正常运行和发电效率。

2.3 线路老化与损耗

光伏电站中的线路承担着电能传输的重要任务,线路老化与损耗是影响电站运行效率的常见问题。随着使用时间的增长,线路的绝缘材料会逐渐老化,绝缘性能下降,容易出现漏电现象,不仅会造成电能的无谓损耗,还可能引发安全事故。而且,线路在长期运行过程中,会受到环境因素的影响,如氧化、腐蚀等,导致线路的电阻增大。根据焦耳定律,电阻增大会使线路在传输电能时产生更多的热量,进一步加剧电能损耗。此外,线路的布局不合理、连接不良等问题也会增加线路的电阻,降低电能传输效率,使得光伏电站输出的电能无法高效地输送到负载端或电网,从而影响电站的整体运行效率^[2]。

2.4 环境因素

环境因素对光伏电站运行效率的影响不容忽视。光照强度是影响光伏发电的直接因素,光照不足时,组件接收到的太阳光能量减少,发电功率随之降低。例如,阴天、雾霾天气等,大气中的颗粒物增多,会削弱太阳光的强度,影响组件的光吸收。温度方面,虽然光伏组件需要一定的温度来工作,但过高或过低的温度都会对其性能产生不利影响。高温会使组件的转换效率下降,同时加速组件的老化;低温则可能导致电池性能变差,影响发电能力。此外,风沙、雨雪等恶劣天气也会对光伏电站造成损害,风沙会磨损组件表面,雨雪可能会在组件上积聚,增加组件的重量,甚至导致组件损坏,进而影响电站的正常运行和发电效率。

2.5 运行监测与管理不足

运行监测与管理不足是影响光伏电站运行效率的潜在关键因素。在监测方面,部分光伏电站的监测系统可能存在监测参数不全面、监测精度不够等问题,无法及时、准确地获取电站各设备的运行状态和性能数据。例如,不能实时监测到组件的细微性能变化或逆变器的潜在故障隐患,导致问题不能及时发现和处理,使小问题逐渐演变成大故障,影响电站的正常运行。在管理方面,缺乏科学合理的管理制度和规范的操作流程,运维人员可能无法按照标准对电站进行定期巡检和维护,对设备的故障处理不及时、不彻底。

3 电站电力系统运行优化策略

3.1 预测与决策的耦合优化

在光伏电站电力系统运行中,实现预测与决策的耦合优化是提升运行效率的关键。精准的预测能为科学决策提供可靠依据。通过运用先进的气象预测技术,结合历史数据与实时监测信息,可对光照强度、温度等影响发电的关键气象因素进行高精度预测,进而准确预估光伏电站的短期与长期发电功率。同时,对电网负荷需求进行精准预测,掌握用电高峰与低谷时段。基于这些预测结果,决策系统能制定出最优的运行策略,如在发电功率过剩时合理安排储能装置充电或调整部分逆变器输出,在用电高峰时提前做好电力调配准备。通过预测与决策的深度耦合,使光伏电站的发电与电网需求精准匹配,减少弃光现象,提高电力资源的利用效率,保障电站电力系统稳定、高效运行^[1]。

3.2 储能与需求侧的协同放大效果

储能与需求侧的协同是提升光伏电站电力系统运行效能的重要途径,能产生显著的放大效果。储能系统具备存储和释放电能的能力,可在光伏发电功率过剩时储存多余电能,在发电功率不足或用电高峰时释放电能,起到调节电力供需平衡的作用。需求侧管理则通过引导用户调整用电行为和模式,如实施峰谷电价政策,鼓励用户在低谷时段增加用电、高峰时段减少用电。当储能与需求侧协同运作时,储能系统能在需求侧低谷时充分储存电能,在高峰时精准释放,与需求侧的用电调整相互配合,进一步平滑电力负荷曲线。这种协同不仅提高了光伏电站电能的利用率,减少弃光,还能降低对电网的依赖,增强电力系统的稳定性和可靠性,实现能源的高效利用和优化配置,放大光伏电站的整体运行效益。

3.3 运行规则与市场机制的协同演进

光伏电站电力系统的稳定高效运行,离不开运行规则与市场机制的协同演进。运行规则为电站的日常运作提供基础框架,涵盖设备操作规范、电力调度流程、安全保障措施等方面,确保电站运行有章可循,保障电力生产与传输的安全性和稳定性。市场机制则通过价格信号引导资源的优化配置,如电力现货市场的实时电价能反映电力供需的瞬时变化,激励光伏电站根据电价波动调整发电策略。当运行规则与市场机制协同发展时,二者相互促进、相互完善。合理的运行规则为市场机制的有效运行提供保障,避免市场波动对电站造成过大冲击;而灵活的市场机制能促使运行规则不断优化,以适应市场变化。这种协同演进有助于提高光伏电站的经济效益,增强其在电力市场中的竞争力,推动光伏产业可持续发展。

3.4 传输与配电层面的协同治理

在光伏电站电力系统里，传输与配电层面的协同治理至关重要。传输层面主要负责将光伏电站产生的大量电能高效、稳定地输送到较远距离的电网节点，其关键在于保障线路的畅通与电能传输质量，减少传输损耗。配电层面则侧重于将传输来的电能合理分配到各个用户端，需依据不同用户的用电需求和特性进行精准调配。实现二者协同治理，要构建统一的信息交互平台，让传输与配电环节实时共享数据，如电能流量、电压波动等信息，以便及时调整运行参数。同时，制定协同的运行调度策略，在用电高峰时，优化传输功率分配，确保配电端有足够电量供应；在用电低谷，合理降低传输功率，避免能源浪费。通过这种协同治理，能提升整个电力系统的运行效率，增强供电的可靠性和稳定性，更好地适应光伏电站大规模接入电网后的复杂运行环境。

3.5 数字化与信息化支撑的统一平台

在光伏电站电力系统运行优化中，数字化与信息化支撑的统一平台发挥着核心支撑作用。该平台借助先进的传感器技术，能实时、精准地采集光伏电站各设备的关键运行数据，如组件的发电功率、逆变器的转换效率、线路的电流电压等，为全面掌握电站运行状态提供详实依据。通过信息化手段，平台对这些海量数据进行高效处理与分析，运用大数据算法和人工智能模型，挖掘数据背后的潜在规律和问题隐患，实现故障的提前预警和精准诊断。同时，统一平台打破了信息孤岛，实现各环节数据的互联互通，使运行人员能在同一界面上对电站进行集中监控与统一管理，大幅提升管理效率。

3.6 组件与设备的优化配置

光伏电站组件与设备的优化配置是提升电力系统运行效率与经济性的关键环节。在组件配置方面，需综合考虑当地的光照资源、气候条件等因素，合理选择组件类型、功率和规格。例如，在光照充足且直射光占比高的地区，可选用高效单晶硅组件；而在多云或散射光较多的区域，多晶硅组件可能更具性价比。同时，要根据场地实际情况，科学规划组件的安装角度和间距，以最大化接收太阳辐射。设备配置上，逆变器的容量要与光伏阵列的功率相匹配，确保电能高效转换。储能设备的容量和充放电策略需根据电站的发电特性和用电需求

来确定，以实现削峰填谷、提高供电可靠性。此外，电缆、开关等设备的选型也要满足电流传输和安全要求。

3.7 清洁与维护策略

光伏电站的清洁与维护策略对其电力系统稳定高效运行意义重大。在清洁方面，由于光伏组件长期暴露在户外，灰尘、污垢、鸟粪等杂质会附着在表面，阻挡太阳光照射，降低发电效率。需根据当地的环境状况制定合理的清洁周期，如多风沙地区应缩短清洁间隔。采用专业的清洁工具和环保型清洁剂，避免对组件造成损伤。对于不同安装方式的组件，如固定式和跟踪式，要采用适宜的清洁方法。维护工作同样关键^[4]。定期对逆变器、汇流箱、配电柜等设备进行巡检，检查设备的运行参数、连接状况和散热情况，及时发现并处理潜在故障。建立设备维护档案，记录设备的维护时间、内容和更换的零部件等信息，为后续维护提供参考。

结束语

光伏电站电力系统运行优化研究是推动光伏产业可持续发展的关键所在。通过对预测与决策、储能与需求侧、运行规则与市场机制等多方面的深入探讨，我们明确了诸多提升运行效率与稳定性的有效路径。构建统一平台实现数字化信息化支撑、优化组件设备配置以及制定科学的清洁维护策略等举措，都能显著增强光伏电站的竞争力。未来，随着技术的持续进步与创新，光伏电站电力系统运行优化将不断迈向新高度，为全球能源结构的绿色转型和应对气候变化贡献更为强大的力量，助力实现清洁能源广泛应用的美好愿景。

参考文献

- [1]张宗华,梁雄,黄蓓,白鉴知.新型电力系统下光伏电站送出线路导线选型优化研究[J].红水河,2025,44(02):60-63+92.
- [2]徐炜.新型电力系统的光伏电站系统安全体系分析[J].数字技术与应用,2025,43(02):65-67.
- [3]申屠刚,吴正骅,王思家,吴翔宇.含光伏电站的电力系统低频振荡广域阻尼协同控制方法[J].中国电力,2022,55(12):69-77.
- [4]林宇杰.新能源光伏电站大规模并网频率主动控制研究[J].能源与环保,2022,44(05):210-215.