

风能太阳能互补发电系统设计优化

于文明¹, 马 敏²

(1. 中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257026;

2. 山东金岛勘察设计有限公司, 山东 东营 257026)

摘 要 在全球清洁能源需求持续增长的背景之下, 风能太阳能互补发电系统作为可再生能源的高效、可靠利用模式, 备受瞩目。本文深度剖析了该系统的工作优势, 围绕设计要点, 从组件选型、系统布局等维度进行了技术应用实践探讨, 以提升发电效率、降低成本为指向, 深入研究了容量配置优化、控制策略优化等方面优化应用策略, 并对关键技术参数进行了探究及实际案例剖析, 旨在为风能太阳能互补发电系统的工程实践提供技术参照, 助推其于工业领域的广泛运用与发展。

关键词 风能太阳能互补发电系统; 技术参数; 容量配置优化; 智能控制算法; 储能系统优化

中图分类号: TM61

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.09.024

0 引言

在能源转型的大环境中, 传统化石能源的局限性愈发显著, 可再生能源的开发与利用成为关键。风能与太阳能作为充裕的清洁能源, 具备极大的发展潜能。然而, 风能发电受风速影响颇为显著, 太阳能发电对光照条件依赖严重, 单一能源发电存在稳定性欠佳的问题。风能太阳能互补发电系统融合二者优势, 达成能源的稳定输出, 在工业、民用等众多领域呈现出广泛的应用前景。对其工作优势、设计要点以及优化策略展开研究, 对于推动可再生能源的高效利用具有重要的现实意义。

1 互补发电系统工作优势分析

1.1 能源互补性增强稳定性

风能与太阳能在时间和空间分布方面呈现出互补特性。从时间维度来讲, 白天光照充足之时, 太阳能发电较为活跃, 而在夜晚或者阴天光照减弱之际, 却可能有着丰富的风力资源, 风力发电能够对电能供应予以补充。比如在我国东北地区, 夏季白天太阳能资源丰富, 光伏发电量较大; 冬季夜晚时间长且光照弱, 不过冬季风频高且风速大, 风力发电能够有效填补太阳能发电的不足。从空间角度而言, 在不同地形地貌之下, 风能和太阳能资源的分布各不相同^[1]。在山东沿海地区, 海风资源常年保持稳定, 同时也具备一定的光照条件, 互补发电系统能够依据当地资源特点合理地调配发电方式, 降低由单一能源波动所导致的供电不稳定风险, 保障电力持续稳定输出, 进而满足各类用电需求。以山东长岛县的互补发电项目为例, 该

海岛年平均风速处于 7 m/s 至 9 m/s, 年平均日照时数达到 2 500 小时。在夏季, 白天太阳能发电的占比能够达到 70%, 可满足岛上的大部分用电需求; 而到了夜晚, 风力发电的占比提升至 80%, 从而确保了电力供应的不间断。借助这种能源互补的模式, 长岛县供电的稳定性得以显著提升, 停电的频次由先前单一发电系统时每年的 20 余次锐减至不足 5 次^[2]。

1.2 降低设备成本与占地需求

在传统的单一发电系统中, 为达成一定的发电容量需求, 就需要大量配置单一的发电设备。例如, 仅构建风力发电场的话, 就需安装众多的风电机组, 这不但导致设备采购成本颇高, 而且风电机组还会占据较大面积, 对土地资源的要求颇高。同理, 大规模的太阳能发电场需要铺设大量的光伏板。然而, 风能太阳能互补发电系统将两种发电方式加以整合, 在满足相同发电容量的情况下, 能够减少单一设备的使用数量。以一个规划发电容量为 10 MW 的发电项目作为例子, 倘若采用单一的风力发电, 假定单机容量为 2 MW 的风电机组, 那就需要 5 台; 而要是采用单一的光伏发电, 按照每兆瓦光伏装机占地面积约 30 亩至 40 亩来计算, 10 MW 光伏电站需要占地 300 亩至 400 亩。采用互补发电系统之后, 能够适度减少风电机组的数量, 同时降低光伏板的铺设面积, 从而有效降低设备采购成本和土地租赁成本, 提升资源利用效率。

1.3 提升发电效率与能源利用率

风能和太阳能发电设备于不同环境条件之下, 其发电效率各异。太阳能电池板在适宜的温度与光照强

度时,发电效率颇高,然而一旦温度过高或者光照过强,发电效率则会有所下降。风力发电机在特定的风速区间内效率为最佳状态,风速若是过高或者过低,皆会对发电效率产生影响。互补发电系统借助智能控制系统,能够实时对风能和太阳能资源状况以及设备运行参数予以监测。当太阳能发电效率因光照或温度等因素而下降时,会自动增加风力发电的比例;反之,当风力发电的条件欠佳时,则优先利用太阳能发电。比如在夏季午后的高温时段,太阳能电池板的发电效率降低,此时倘若风力条件良好,该系统便可自动进行调整,令风力发电承担更多的发电任务,以保障整个发电系统始终维持在较高的发电效率,达成能源的高效利用。以一款常见的单晶硅太阳能电池板而言,于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且光照强度为 $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ 的状况下,其转换效率能够达到 22%;然而,当温度提升至 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,转换效率则会降低至大约 20%。至于某型号的风力发电机,在额定风速为 $12\ \text{m}/\text{s}$ 时,发电效率处于最高水平,而当风速超过 $15\ \text{m}/\text{s}$ 时,就需要凭借变桨距系统来对叶片角度予以调整,以防发电机出现过载的情况,于此际发电效率会出现一定程度的降低。处在江苏南京的互补发电系统借助智能控制,能够切实有效地平衡两者的发电效率,使能源利用率提升 10% 至 15%。

2 风能太阳能互补发电系统设计要点

2.1 精准匹配组件技术参数

组件的选型是系统设计中的关键环节。风力发电机的选型需按照当地的风速数据来进行。比如,在年平均风速处于 $6\sim 8\ \text{m}/\text{s}$ 的新疆哈密市,适宜选用切入风速在 $3\sim 4\ \text{m}/\text{s}$ 、额定风速在 $10\sim 12\ \text{m}/\text{s}$ 、额定功率为 $1.5\sim 2\ \text{MW}$ 的风电机组。这类风电机组能够在当地的风速条件下高效运转,从而充分捕获风能。至于太阳能电池板,则需要考虑当地的光照强度和光照时长。于光照资源丰富的西藏地区而言,选用转换效率处于 20%~22% 的单晶硅光伏板是较为适宜的,如此其可在充足光照时将更多太阳能转化为电能^[3]。与此同时,储能设备的容量以及充放电特性也要与发电组件相匹配。若是系统发电功率的波动较大,那么就需要配备大容量且充放电速度快的储能电池,如磷酸铁锂电池,以确保电力的稳定输出。以西藏拉萨的互补发电项目为例,该地区的年平均日照时数达 3 000 小时,年平均风速为 $7\ \text{m}/\text{s}$ 。此项目选用了额定功率为 $1.8\ \text{MW}$ 的风电机组,其切入风速为 $3.5\ \text{m}/\text{s}$,额定风速为 $11\ \text{m}/\text{s}$;太阳能电池板采用了转换效率为 21% 的单晶硅光伏板。储能系统则配备了容量为 $500\ \text{kW}\cdot\text{h}$ 的

磷酸铁锂电池,其充放电倍率可达 1 C,能够在较短时间内实现快速充放电,从而有效应对发电功率的波动。

2.2 合理规划系统布局结构

系统布局对发电效率和运维成本有着直接影响。就风电场布局来说,必须要考虑风电机组之间的间距,以防尾流效应给发电效率带来影响。依据相关研究,风电机组的间距通常为叶轮直径的 5 倍至 10 倍。关于叶轮直径为 $120\ \text{m}$ 的风电机组,其间距需处于 $600\ \text{m}$ 至 $1\ 200\ \text{m}$ 之间。在甘肃酒泉的某风电场项目中,风电机组叶轮直径达 $110\ \text{m}$,经计算将风电机组间距设定为 $800\ \text{m}$,成功减少了尾流效应,致使风电机组发电效率提升约 8%。而在光伏场布局时,必须保证光伏板之间具备充足间隔,以防相互遮挡。同时,鉴于光伏板的朝向与倾角,于北半球中纬度地区,光伏板通常朝南安装,倾角需依据当地纬度予以调整,从而获取最大光照量。在电气连接布局方面,运用合理的线缆铺设模式,降低线路损耗。比如,选取低电阻的电缆,并对线路走向进行优化,缩短电流传输距离,减少因线路电阻所导致的功率损耗^[4]。在光伏场布局中,借助软件模拟分析,确定光伏板之间的间隔为 $3\ \text{m}$,保证在各个时段均不会出现相互遮挡现象。同时,选用电阻为 $0.01\ \Omega/\text{km}$ 的电缆,并对线路走向加以优化,使线路损耗降低了 15%。

2.3 构建高效智能控制系统

智能控制系统是实现风能太阳能互补发电系统稳定运行的关键所在。该系统应具有实时监测功能,借助传感器对风速、风向、光照强度、温度以及各发电组件与储能设备的运行参数等信息予以采集。依据这些数据,以先进算法展开分析并作出决策。如运用最大功率跟踪算法,可令太阳能电池板恒处于最大功率点临近区域工作,提升太阳能发电效率;就风力发电机而言,则采用变桨距与变速控制技术,依据风速对风轮叶片角度及转速进行调适,保证风电机组于不同风速下皆能高效运转。与此同时,控制系统还需达成对储能设备的智能充放电管理,按照发电功率与负载需求,合理把控储能设备的充放电进程,以确保电力供需的平衡状态。上海的某智能控制系统运用了高精度传感器,可实时采集风速、光照强度等数据,其精度可达 $\pm 0.1\ \text{m}/\text{s}$ 和 $\pm 10\ \text{W}/\text{m}^2$ 。经由 MPPT 算法,太阳能电池板的发电效率提升了 10% 至 15%。针对风力发电机,采用了先进的变桨距和变速控制技术,能够在风速处于 $3\ \text{m}/\text{s}$ 至 $25\ \text{m}/\text{s}$ 的范围内稳定运行,发电效率始终维持在较高水准。关于储能设备的智能充放电

管理系统,其可依据发电功率与负载需求,迅速对充放电策略予以调整,以达成电力供需的平衡状态,进而使系统稳定性获得显著提升。

3 风能太阳能互补发电系统优化应用策略

3.1 基于数据模型的容量配置优化

容量配置的优化是提升系统性能的关键。借助构建数学模型,与当地风能和太阳能资源的历史数据相融合,深度剖析不同季节、不同时段的新能源分布规律。譬如运用时间序列分析法,对历年的风速和光照强度数据予以处理,以对未来能源变化的趋势予以预测。基于此,将系统发电成本最低、发电效率最高设定为目标函数,构建涵盖风力发电机容量、太阳能电池板容量、储能设备容量等变量的优化模型。经求解该模型,进而确定最为适宜的容量配置方案。如在广东汕头地区经模型计算得出,于现有资源条件之下,当风力发电与太阳能发电容量之比为3:2时,系统综合效益达最优,能够切实降低发电成本,提升能源利用率。而汕头地区通过针对过去十年的风速和光照强度数据实施时间序列分析,实现了对未来能源变化趋势的预测^[5]。构建了以发电成本与发电效率作为目标函数的优化模型,经计算后明确了该地区一个10 MW互补发电项目的最优容量配置规划:风力发电容量达6 MW,选取3台单机容量为2 MW的风电机组;太阳能发电容量为4 MW,采用转换效率为21%的单晶硅光伏板;储能设备容量为1 000 kW·h,选用磷酸铁锂电池。通过这样的优化配置,系统发电成本降低了12%,发电效率提升了10%。

3.2 智能控制算法实现协同优化

为实现各组件的协同运行,借助智能控制算法是优化系统的关键策略。通过采用模糊控制算法,依据风速、光照强度、负载需求等诸多输入变量,由模糊规则推理,对风力发电机和太阳能电池板的工作状态予以自动调整。比如,在风速较低而光照强度处于中等水平时,模糊控制器能够适度增加太阳能发电的比例,同时对风力发电机的桨距角进行调整,令其在低风速状况下依然能够保持一定的发电效率。另外,引入分布式协同控制算法,可使多个风电机组和光伏阵列之间达成信息共享与协同工作。每个发电单元会依据自身状态以及周边环境信息,对运行参数予以自主调整,从而达到整个发电系统的最优运行状态,增强系统的稳定性与可靠性^[6]。例如,在福建厦门的某智能控制系统中,运用了模糊控制算法,其按照风速、光照强度以及负载需求等变量,订立了详尽的模糊规则。当风速处于4 m/s至6 m/s且光照强度处于500

W/m²至700 W/m²时,模糊控制器会自动将太阳能发电的比例提升至60%,同时对风力发电机桨距角进行调整,令风电机组的发电效率维持在大约70%。在引入分布式协同控制算法之后,多个风电机组与光伏阵列之间达成了信息共享并实现了协同工作,使得系统稳定性提升了15%,发电效率也提高了8%。

3.3 储能系统优化提升稳定性

储能系统于互补发电系统当中发挥着关键的调节作用,而优化储能系统的充放电策略是提升系统稳定性的重要举措。通过采用基于荷电状态(SOC)的充放电控制策略,依照储能电池的SOC值以及系统发电功率、负载需求等因素,对充放电时间和功率进行合理安排。例如,当储能电池SOC值较低且发电功率大于负载需求时,优先对储能电池充电;当SOC值较高且发电功率不足时,储能电池放电补充电力。同时,通过优化储能设备的选型和配置,提高储能系统的效率和寿命。例如,选用循环寿命长、充放电效率高的新型储能技术,如液流电池,降低储能系统的运维成本,增强系统的稳定性和可靠性。

4 结束语

风能太阳能互补发电系统以其能源互补及成本低等显著优势,于可再生能源领域展现出了极为强劲的发展潜力。在设计层面,需对组件参数进行精准匹配,并对系统予以合理布局;在应用过程中,要对容量配置以及控制策略等进行优化,如此方能提升该系统的性能。未来,有必要持续推进技术创新,不断完善设计并优化相关策略,以促使其在更多的领域得到广泛应用,从而为能源转型以及可持续发展奉献力量。

参考文献:

- [1] 苗效瑞.风光互补发电系统运行优化控制原则和策略[J].光源与照明,2023(12):83-85.
- [2] 张原.新能源供电多功能互补发电系统设计策略[J].光源与照明,2023(05):189-191.
- [3] 彭金银,朱香瑾.渔排风光互补发电系统容量优化配置研究[J].电气技术与经济,2023(06):38-39,52.
- [4] 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.
- [5] 左冲,贾彦,孟克其劳,等.基于HOMER仿真的风光储互补发电系统容量优化配置研究[J].内蒙古电力技术,2023,41(01):21-25.
- [6] 夏伊乔,陈发毅.电网中风能与太阳能混合发电系统的集成与应用研究[J].通信电源技术,2024,41(24):106-108.