新能源风力发电系统中储能技术的应用

王海洋[1]　王卫超[2]　张国帅[1]　苏川川[1]
1. 山东国华时代投资发展有限公司　山东　济南　250000
2. 中建八局第一建设有限公司　山东　济南　250000

摘　要：风力发电受自然风能特性制约，出力波动、稳定性不足的运行缺陷，长期影响风电系统的供电质量与运行效能。各类储能技术凭借差异化的能量转换与调节特性，可有效适配风电运行的调节需求，本文结合不同储能技术的运行特征与适配逻辑，系统梳理储能技术在风电波动平抑、并网支撑、离网供电及负荷调节等场景的具体应用形式，区分不同储能技术的适配优势与应用侧重，同时从系统结构、协同控制、技术迭代及一体化发展角度优化风储运行体系，完善风力发电系统的整体运行架构与调控能力。

关键词：风力发电；储能技术；风储适配；协同运行；系统优化

引言：风电作为清洁能源体系的重要组成部分，是新能源开发利用的核心形式之一，具备广阔的应用发展空间。风力发电的能量转换依托自然风能完成，风速、气流的动态随机性变化，使得风机发电输出功率始终处于波动状态，加之设备机械运转的滞后特性，风电供电稳定性难以适配电力系统的运行标准。储能技术拥有灵活的能量存储与释放能力，能够有效弥补风力发电的天然短板，适配风电系统多样化的运行调节需求。依托不同储能技术的性能特点，匹配风电各类运行工况，可有效改善风电运行缺陷，提升风电资源利用效率与系统运行稳定性。

1 风力发电系统与储能技术的适配体系

1.1 风力发电系统运行特性分析

风力发电依靠自然风能实现能量转换，大气环境中风能的随机变化会直接干扰发电过程的稳定性。风速会随昼夜更替、季节更迭以及地理环境不断改变，气流强弱的动态波动会让风机转速始终处于动态波动状态。发电侧输出的电能参数难以保持平稳，输出功率始终处于动态浮动的状态。风机属于机械运转设备，能量转换存在天然的滞后属性，设备运转速度和工作状态无法及时跟随风能的实时变化[1]。这类固有运行特点，导致风电输出电能稳定性较差。电力系统对供电连续性和电能质量有着严格标准，风电的波动特性会对系统正常运行造成干扰，这也是风电系统需要引入储能设备优化运行状态的关键原因。

1.2 储能技术的基础类型与技术特征

目前可应用于风电场景的储能技术分为多种主流类型，不同技术依托的能量转换载体和工作原理存在显著差异。电化学储能借助化学介质完成电能与化学能的双向转换，能够灵活完成能量的存储与释放，动态响应速度表现优异。机械储能通过势能转化的方式储存能量，设备运行状态稳定可靠，更适合长时间维度的能量存储工作。电磁储能以电磁场作为能量载体，整体转换流程简洁，动态响应速度优势明显。不同储能技术在能量存储方式、响应速度、工况适配范围上各有优劣，形成了特点鲜明、分工不同的技术体系，可适配风电系统多样化的调节需求。

1.3 风电系统与储能装置的适配原理

风电系统运行的主要短板集中在电能输出不稳定，储能设备的核心作用是实现电能的可控存储与有序释放。风电产能富余时，储能设备可以吸纳电网冗余电能，完成能量的储存积累。风电产能不足、无法匹配用电需求时，储能设备释放储存的电能，补齐发电侧的供电缺口。通过能量吸纳与释放的动态调节方式，可以有效平抑风电输出的无序波动，改善电能输出不稳定的问题，让风电输出质量满足电力系统正常运行的基础标准。

1.4 风电储能联合运行的匹配逻辑

风电与储能设备的配合运行，主要依托风电实时运行状态，结合各类储能技术的自身特点完成能量调度工作。依据风电功率波动的幅度和持续时长，选择适配的储能方式完成工况调节。短时间、高频率的小幅功率波动，依靠响应速度快的储能技术完成优化调节。跨度久、幅度大的功率失衡问题，依托大容量储能技术实现供需平衡。差异化的匹配方式可以充分发挥各类储能技术的优势，弥补风力发电本身存在的性能短板，搭建出可调节、可优化的风电供电运行体系。

2 储能技术在风力发电系统中的应用场景

2.1 风电出力波动平抑场景应用

自然风能始终处于动态变化之中，风速与气流的不断改变，会让风力发电的输出功率持续起伏波动。发电端不稳定的电能状态，会对电力输送过程造成诸多不良影响。储能设备能够在风能充足、发电输出较高的阶段，吸纳系统富余的电能并完成存储。当风能减弱、发电输出水平下降时，再释放储存的电能，填补发电环节出现的功率空缺。依靠能量存储与释放的动态调节，缓解风电功率的剧烈起伏，让发电输出状态趋于平稳[2]。这种运行方式能够有效应对风能不确定带来的发电扰动，让风电输出始终维持在相对平稳的状态，保障发电环节的有序推进。

2.2 风电并网运行支撑场景应用

风电接入公共电网运行体系后，电网对入网电能的电压、频率等核心参数有着明确的质量标准。风电本身的不稳定特质，容易造成电网电能参数出现偏移，打乱电网整体的运行秩序。储能技术可以针对性调整并网电能的各项参数，修正电力传输过程中产生的参数偏差。电网承载负荷较大、供电资源紧张时，储能设备释放储备电能，舒缓电网的供电压力。电网整体负荷较轻、电能消耗较少时，系统产生的多余风电可转入储能设备保存，避免富余电能对电网运行造成负面影响。这类调节方式可以持续优化风电并网的运行状态，保障电网平稳有序运行，为风电大规模并入电网发展提供可靠的技术支撑。

2.3 离网风力发电系统供电保障场景应用

不少风力发电设备应用于偏远区域、独立供电场景，不接入公共电网，只为局部用电设备和区域负荷提供电力支持。脱离电网辅助的离网风电系统，发电能力完全取决于现场风能条件，运行稳定性极易受到自然环境的制约。无风、微风等恶劣风力条件下，发电机组的发电能力大幅下降，难以产出充足电能，容易引发供电不足甚至供电中断的问题。储能设备可以在风力资源充沛、发电效率良好的时段积攒电能。面对风力不足的工况时，持续向外输出电能，为各类用电负荷稳定供能。这套运行模式能够持续保障离网风电系统的供电连续性，满足独立用电场景常态化的用能需求。

2.4 风电系统负荷调节场景应用

日常生产与生活的用电需求始终处于动态变动状态，不同时段的用电负荷存在明显高低差异。风力发电的产能变化完全跟随自然环境走势，无法根据用户用电需求主动调整发电节奏，发电产能与用电负荷之间经常出现供需错配的问题。储能技术可以对风电产能进行科学统筹与合理分配，实现电能的错峰高效利用。用电需求低迷的时段，系统产出的多余电能可以完整留存储存，杜绝电能资源闲置浪费。用电需求旺盛、供电压力较大的时段，储能设备释放积攒电能，补足风电产能的供应短板。通过灵活调整风电系统的实际供电体量，缩小发电产能与用电需求的差距，提升风电资源的整体利用水平。

3 风电系统中各类储能技术的应用方式

3.1 电化学储能在风电系统中的应用形式

电化学储能通过化学介质实现电能与化学能的双向转换，在风电系统中拥有十分出色的适配能力。设备整体集成度较高，安装布置灵活自由，能够适配不同规模、不同场景的风电场建设需求。风电发电量超出实时用电需求时，设备可通过内部化学反应吸纳多余电力，以化学能的形式储存起来。当风电发电水平回落、系统供电量不足时，再通过逆向反应释放储存电力，补充系统功率缺口[3]。电化学储能反应灵敏、调节精度较高，能够应对风电运行过程中频繁出现的小幅功率波动，适配日常风电运行的精细化调控场景，完成稳压补偿、电能优化等基础调控工作。

3.2 机械储能在风电系统中的应用形式

机械储能依靠物理运动完成能量的存储与释放，工作原理通俗易懂，设备运行年限更久，整体运行可靠性更强。这类储能方式具备大容量储能特质，更适合处理风电运行过程中出现的长期性功率失衡问题。风力条件优越、风电整体产能偏高时，多余电能可驱动机械结构运转，将电能转化为势能留存。风力衰减、发电产能整体下降后，储存的势能会重新转化为电能，为风电系统补充供电量。机械储能可以适配长时间、大负荷的运行工况，专注于风电系统的长效能量储备与大范围产能平衡，支撑大型风电场的稳定运行。

3.3 电磁储能在风电系统中的应用形式

电磁储能依托电磁场完成能量存储，能量转换过程无需借助化学反应与机械传动结构，运行环节更加简洁高效。这套储能方式响应速度极其敏捷，能够精准捕捉风电运行中转瞬即逝的功率震荡。风电输出功率突然抬升时，电磁储能快速吸纳冗余电力，抑制功率异常上浮。风电输出功率快速下跌时，及时释放储能能量，托举系统整体功率水平。电磁储能更适合处理短时、高频的瞬时工况变化，并不适用于大容量、长时长的能量存储工作，主要用于平复瞬时功率扰动，优化并网电能品质，降低短时波动对电网的负面影响。

3.4 多类型储能协同风电的组合应用形式

单一品类的储能技术都存在适用范围的局限性，难

以单独应对风电运行中复杂多变的工况调节需求。整合各类储能技术的独特优势，搭建多品类储能组合体系，可以全方位完善风电系统的调控能力。依靠电磁储能处理瞬时功率波动，利用电化学储能完成日常精细化功率调节，借助机械储能承担大规模、长周期的能量储备任务。不同储能模块各司其职、分工互补，对应匹配风电不同强度、不同时长的功率变化。这种多层次的搭配模式可以覆盖风电全场景运行需求，让风电系统的调控方式更加完善，运行稳定性也能得到进一步提升。

4 风力发电系统中储能技术的优化与发展方向

4.1 风电储能系统结构优化方式

风电储能系统的整体结构设计直接决定系统运行效率与资源利用水平，结构优化是提升风储系统运行质量的基础手段。传统风储系统多采用固定化的设备搭配布局，硬件配置模式较为单一，难以适配复杂多变的风电运行工况。结构优化工作围绕设备布局、模块搭配、系统架构等多个维度展开。通过调整储能模块的排布方式，精简电力传输的链路结构，减少能量传输过程中产生的损耗[4]。结合风电场实际运行规模与工况特点，灵活搭配不同类型储能模块的组合配比，搭建模块化、可调整的系统架构。合理规划系统内部设备的层级分布，简化运行调度流程，有效降低传输损耗与资源浪费，让风储系统的配置形式更加贴合风电多变的运行工况。

4.2 风电储能协同控制技术优化

控制技术是调节风储系统运行状态、平衡发电与储能工况的核心手段。传统控制模式调控逻辑较为固化，应对风电复杂工况变化的调节能力有限，难以实现精细化的运行调控。协同控制技术的优化聚焦调控逻辑与调控精度的升级。依托风电运行的实时工况变化，更新调控算法逻辑，细化不同功率波动、不同负荷状态下的调控策略。完善系统数据采集与分析机制，精准捕捉风电产能变化规律，为储能能量吞吐调控提供精准的数据支撑。优化后的控制模式可以动态匹配风电出力变化，精准把控储能充释节奏，从调控层面解决风电出力波动带来的系统运行难题。

4.3 适配风电场景的储能技术迭代方向

风电运行场景的特殊性，对储能设备的性能、寿命、适配性提出了更高的标准，推动储能技术持续迭代升级。技术迭代主要围绕储能设备的核心性能展开，重点提升储能装置的环境适应能力与运行耐久度。优化储能材料的核心属性，提升能量存储密度，扩大单设备的储能容量，缩减设备占地空间。改良设备内部结构与运行工艺，提升设备在复杂户外环境下的抗干扰能力，延长设备服役周期。持续降低储能设备的运维成本与能耗损耗，提升储能环节的资源利用效率。各项性能的持续升级优化，能够切实缩小储能设备与风电复杂运行场景之间的适配差距。

4.4 风电储能一体化技术发展趋势

风电与储能设备的独立运行模式，会造成资源调配分散、运行衔接不畅等各类问题，一体化融合发展成为行业主流走向。风电储能一体化发展打破设备独立运行的固有模式，实现发电单元与储能单元的深度融合。一体化架构可以整合风电发电、储能调优、电力输送等多项功能，简化系统整体架构[5]。依托智能化技术完善系统自主调控能力，实现发电、储能、供能的自主统筹调配。更高的设备集成度与智能调控水平，能够彻底改善传统分体运行模式存在的衔接缺陷，推动风储系统整体运行效能稳步提升。

结束语

风储融合是优化风力发电运行状态的重要方式，各类储能技术凭借自身独特的运行优势，可针对性解决风电出力波动、供需错配、并网不稳等多项运行问题。通过区分不同储能技术的应用场景与适配逻辑，结合系统结构、控制模式与设备性能的全方位优化，能够充分发挥各类储能技术的调控价值。多储能协同配合、风电储能一体化融合的运行模式，可有效完善风电系统的调控体系，持续提升风力发电的供电质量与运行可靠性，为风电常态化、规模化应用提供坚实的技术支撑。

参考文献

[1]林清.新能源风力发电系统中储能技术的应用研究[J].科技资讯,2026,24(1):192-194.

[2]田子健.新能源风力发电系统中储能技术的应用探索[J].河南科技,2024,51(22):12-15.

[3]余晓艳.新能源风力发电系统中储能技术的实践应用[J].大众科学,2025,46(4):25-27.

[4]宋娟.飞轮储能控制技术在新能源风力发电系统中的应用[J].储能科学与技术,2025,14(9):3431-3433.

[5]王飞.新能源风力发电系统中的储能技术探究[J].电力设备管理,2025(22):131-133.