

Practical Application of Energy Storage Technology in Wind Power Generation System

Wenliang Ren

Huaneng Renewables Corporation Limited Sichuan Branch, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

With the continuous development of renewable energy, wind power has become an important clean energy. However, the instability of the wind creates challenges for the power system. As an effective solution, energy storage technology can balance supply and demand, enhance the stability of the power grid, and the application of energy storage technology in the wind power generation system, the practical application of energy storage technology in the wind power generation system has important practical significance for promoting the large-scale development of wind power generation, achieving sustainable energy supply, and promoting the development of renewable energy. This paper will discuss the practical application of energy storage technology in wind power generation systems, and analyze its impact on improving the efficiency and reliability of wind power generation.

Keywords

wind power generation; energy storage technology; grid stability

储能技术在风力发电系统中的实践应用

任文亮

华能新能源股份有限公司四川分公司, 中国·四川成都 610000

摘要

随着可再生能源的不断发展, 风力发电已成为重要的清洁能源。然而, 风力的不稳定性给电力系统带来了挑战。储能技术作为一种有效的解决方案, 能够平衡供需、增强电网稳定性, 以及风力发电系统中储能技术的应用, 储能技术在风力发电系统中的实践应用, 对于推动风力发电的大规模发展、实现能源的可持续供应、促进可再生能源发展具有重要的现实意义。论文将探讨储能技术在风力发电系统中的实践应用, 并分析其对提高风力发电效率和可靠性的影响。

关键词

风力发电; 储能技术; 电网稳定

1 引言

在全球能源转型的大背景下, 风力发电以其清洁、可再生和丰富的资源优势, 成为能源领域的重要组成部分。然而, 风力的随机性导致其输出功率不稳定, 给电网的可靠运行带来了诸多难题。为了有效应对这一挑战, 储能技术逐渐成为风力发电系统中不可或缺的一部分。储能技术能够实现能量的存储和释放, 平抑风力发电的波动, 提高电能质量, 增强电网对风电的接纳能力。

2 风电并网产生的影响

在飞速发展的风电接入电力系统中, 风能发电功率的波动性问题日益突出, 严重考验着电网的稳定性。风电接入电网的核心难题是其风能产生的间歇性与波动性, 导致电力

输出大幅变动, 对电力系统的稳定运行构成严峻考验。在极限状况中, 将引发系统的不稳定性, 甚至面临全面崩溃的风险。大规模风电接入电网会给电压稳定带来压力, 涉及电压波动、闪烁问题以及功率平衡的复杂难题。随着风电装机量爆发式增长, 限制了调度的灵活性, 限制风电接入, 抑制了风电技术的充分发挥^[1]。

因此, 整合风力发电设施进电力体系是优化风能效益, 扩大规模接入的关键手段。关键策略升级集中在精细调整风力发电机调控方法, 并集成先进的储能系统, 增强风电并网稳定性^[2]。尽管改变风力发电机控制策略的方法极为直观, 但它需要牺牲部分潜在风能, 且受制于发电机效能及多变的风速条件, 实际效能将难以达到预设的目标。在风力发电场内, 储能系统的优势明显, 其作用可以抵消风能产生的波动性, 从而增强电力供应的稳定性。并在这一状况下, 无需调整风电机组基本操作参数, 即可实现长时间稳定输出风电。

【作者简介】任文亮(1992-), 男, 中国山西汾阳人, 本科, 助理工程师, 从事提高风电场运行检修工作质量研究。

3 风力发电系统中常用的储能技术

3.1 蓄电池储能技术

在储能技术领域，铅酸蓄电池是一种传统且成熟的方案，具有重要地位。它的能量密度通常在 $30\sim 50\text{W}\cdot\text{h/kg}$ ，循环寿命一般能达到 $500\sim 1000$ 次。咱们拿一个装机容量为 100MW 的风电场来说，如果风速一直稳定在 6m/s ，每年的发电小时数是 2000h ，那这个风电场一年的总发电量估计能达到 2 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。要是想实现 4h 的储能时长，假设放电效率是 80% ，那需要的铅酸蓄电池容量大概就是 $400\text{MW}\cdot\text{h}$ 。这就意味着可能得用好多串联和并联的铅酸电池组件，所以整个系统需要的空间就比较大。虽说铅酸蓄电池有一些好处，可也有明显的不足。它特别重，这就使得运输和安装都很费劲，成本也跟着上去了，而且在风电场这种空间有限的地方，这就是个大麻烦。另外，铅酸蓄电池自己就会放电，时间长了，存的电就损失不少。

近些年来，锂离子蓄电池发展得特别快，成了先进的储能技术，很受欢迎。这种蓄电池的能量密度比铅酸蓄电池高多了，一般在 $100\sim 265\text{W}\cdot\text{h/kg}$ 。循环寿命也长，能超过 2000 次。要是 100MW 的风电储能项目用锂离子蓄电池来实现 4 小时储能，它的高能量密度能让需要的电池总数和占地空间都变少。像特斯拉的 Powerwall 锂电储能系统就特别厉害，在储能领域很出名。不过，锂离子蓄电池也有个大问题，就是成本比较高，这在一定程度上限制了它在大规模风电储能里的广泛使用。但是随着技术发展和大规模生产，锂离子蓄电池的成本在慢慢降低，在风能发电储能方面的应用潜力也就更大了。

3.2 超级电容器储能技术

超级电容器储能技术在构建风力发电系统的时候发挥着关键作用^[3]。超级电容器有个特别厉害的地方，就是功率密度特别高，能达到好几千瓦/千克，所以能一下子放出很多能量。不过它的能量密度比较低，大概在 $5\sim 10\text{W}\cdot\text{h/kg}$ ，但是循环寿命特别长，能有几十万次。一个 50MW 的风电场，它的电力输出会因为风速变化和风机本身的特点，有很明显的瞬间波动。在这种情况下，用超级电容器来做功率补偿效果特别好，它能在几秒到几分钟内很快做出反应，马上适应。比如说 Maxwell 公司的超级电容器，功率密度能达到 10kW/kg ，瞬间放电能力特别强，能大大提高电力系统的稳定性。通过它能有效控制电压波动，让电力设备运行的时候少受冲击。

超级电容器还有个很大的优点，就是充放电效率几乎能达到 100% ，这就说明在能量存储和释放的过程中几乎没什么损耗。和传统的电池比起来，优势很明显。而且超级电容器很耐用，几乎不用怎么维护，这样长期运行的时候维护成本和运营压力就小多了。

虽说超级电容器优点很多，但是也有个问题，就是能量密度低，所以要是需要长时间、大规模储能，它自己就不

行了。所以在实际的风力发电配置里，超级电容器经常和别的储能技术一起用，互相补充。比如说把超级电容器和蓄电池结合起来，超级电容器能很快处理突然的功率需求，蓄电池能提供稳定持久的能源支持。这样就能把两者的优势都发挥出来，增强储能效果，保证风电场能稳定运行，电能质量也能保持稳定。

3.3 飞轮储能技术

飞轮储能技术在风力发电中的应用越来越重要，好处也越来越明显。飞轮储能系统主要包括高速旋转的飞轮、带动飞轮的电机/发电机，还有负责电能转换的电力电子设备^[3]。

飞轮储能的效果很大程度上取决于它的旋转速度和转动惯量。飞轮转得特别快，能达到每分钟几万转，这样能量密度就能达到 $20\sim 100\text{W}\cdot\text{h/kg}$ 。像 Beacon Power 公司的飞轮储能技术就很厉害，能以 50000r/min 的速度工作，储能和释放能量的效果都很好。一个 30MW 的风电设备，发电会受到风力变化的很大影响，风一会儿大一会儿小，输出功率波动就很明显。飞轮储能技术能很好地应对风力发电产生的瞬间功率波动。通过每 15 分钟一次的储能和放能循环，飞轮高速旋转，实现了动能的存储和高效释放，让风电输出变得更平稳、更稳定。

飞轮储能技术有不少优点。首先反应速度特别快，能在毫秒级的时间里精准应对电力负荷的变化，这对保持电力系统实时的功率平衡特别重要。而且飞轮储能效率很高，通常能超过 90% ，在能量转换的时候耗能少。另外，飞轮储能系统耐用，维护费用也低。

飞轮储能技术也有一些难题。它的成本高，主要是因为要用高性能的原材料，制造工艺也很复杂。而且飞轮储能长期储能的能力不行，满足不了大规模、长时间的储能需求。虽然已经有了一些成绩，但是随着技术不断进步，飞轮储能技术在风力发电领域还是有很大发展潜力。

3.4 超导储能技术

超导储能技术很有前瞻性，潜力巨大，在风力发电系统中的应用前景很不错^[4]。超导储能系统靠独特的零电阻超导线圈，能高效、无损失地存储能量，很好地解决了风能不稳定、断断续续供电的问题。

超导储能技术的能量密度很出色，一般能达到 $10\sim 100\text{W}\cdot\text{h/kg}$ 的存储量。美国有个超导科技公司研发的储能方案，能量密度能达到 $50\text{W}\cdot\text{h/kg}$ ，效果特别好。在管理一个 80MW 的风电场时，发电会受到风速和风向的直接影响，输出的电会有明显的高频波动和突然变化。在这种情况下，超导储能技术能在毫秒级的时间里快速调控风力发电的功率输出。它能很快响应，把电网里的高频谐波去掉，控制住电压波动，保证电力系统稳定运行，电能质量也好。

超导储能技术有很多优点。一开始，它的实时响应能力就很强，能很快很准确地根据电网的变化来调整。而且超导储能效率超高，几乎能达到 100% ，在能量存储和释放的

时候表现都很棒。它的储能能力也很强，能满足大规模储能设备的需要。虽然超导储能技术很有前途，但是现在实际用的时候还是有一些问题。超导体的生产成本高，这就限制了它大规模的使用和推广。要保持超导的特性得有很精密的低温环境控制，这就让系统变得很复杂，成本也高，操作和维护设备都有技术难题。不过就算超导储能技术还有要改进的地方，还得优化成本效益，但是它在风能领域的未来发展还是很值得期待的。以后风力发电系统的效率很可能会大大提高，能有力地推动可再生能源的大规模应用，同时保证电网稳定运行。

4 风力发电系统中储能技术的应用情况

4.1 应用结构

在风力发电系统中，储能技术的应用结构多样，取决于风电场规模、电网接入要求及储能技术类型等。

小型风电场常见的应用结构是将储能设备与单个或一组风机直接相连。如 5MW 的风电场，可能为每台 1MW 的风机配备 1~2MWh 的蓄电池储能系统，能平滑风机输出功率，减少对电网冲击。

中型风电场（20~50MW）多采用集中式储能结构，将多个风机输出汇集至中央储能系统。以 30MW 风电场为例，中央储能系统容量可能在 10~15MW·h，通过电力电子变换装置与母线连接，可调节和控制整个风电场输出功率，提高稳定性和电能质量。

大型风电场（超过 100MW）常采用分布式与集中式结合的混合储能结构。例如，200MW 的风电场，部分风机配备小型本地储能装置，如飞轮或超级电容器，用于快速响应短期波动；同时在升压站附近设大规模集中式储能电站，如锂离子或液流电池储能系统，容量可达数百兆瓦时，调节长期功率输出平衡。

新型的氢储能结构，将风电多余电能电解水制氢储存，需要时再转化为电能。虽能量转换效率有损失，但储能容量大、时间长，对大规模长时间储能有潜在应用价值。

4.2 应用效果

提高电能质量，能平滑风电输出功率波动，减少电压闪变、谐波等问题。如 50MW 风电场引入 10MW·h 超级电容器储能系统，电压闪变率从 10% 降至 2% 以下，谐波达标，保障用电设备运行。

增强电网稳定性，风电间歇性和随机性挑战电网稳定，

储能技术可快速响应功率需求变化。如 100MW 风电场接入区域电网，无储能装置时，频率波动超 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，电压偏差超 $\pm 5\%$ ；配置 20MW·h 蓄电池储能系统后，频率波动控制在 $\pm 0.2\text{Hz}$ 内，电压偏差减小到 $\pm 2\%$ 内。

增加风电消纳能力，使风电输出更平稳可预测，提高电网接纳能力。某地区未采用储能技术时，风电消纳比例约 20%，引入大规模储能系统后提高到 40% 以上，减少弃风，提高风能利用率。

实现能量时移，在低负荷时段储能，高负荷时段释放，提高电力系统运行效率和经济性。

降低运营成本，虽初始投资高，但能减少弃风损失和电网罚款等，如某风电场安装储能系统后运营成本降低约 10%。

促进可再生能源发展，为风力发电等可再生能源大规模发展提供支持，助力能源结构转型和可持续发展。

然而，储能技术应用也面临挑战，如设备成本高、系统寿命和可靠性待提高、标准规范不完善等。但随着技术创新，其在风力发电领域应用前景广阔。

5 结语

在风能发电系统集成中，储能技术的实质性运用堪称核心，其确保了可再生能源的连续供应，对维持电网稳定性至关重要。尽管风能的波动性构成挑战，但借助尖端的储能解决方案，风电系统能确保电力供应的稳定性，从而改善电能品质，并提升电网对频率调整和管理效能。蓄电池、超级电容器以高功率密度在应用中占据核心地位，飞轮储能凭借其高能量密度特性占有一席之地，而超导储能技术则凭借无电阻特性的优势独树一帜。在特定场景和需求中，它们的性能优势皆不可或缺。热切盼望储能科技的未来创新能无缝整合进风力发电系统，驱动可再生能源的持续优化升级，构建一个环保、高效且稳定的能源体系。

参考文献

- [1] 任冬. 储能技术在风力发电系统中的应用研究[J]. 现代工程科技, 2024, 3(1): 1-4.
- [2] 黄港, 杨春啟, 胡芳, 等. 浅谈相变储能技术及其在风力发电系统中的应用[J]. 水电与新能源, 2023, 37(7): 44-46.
- [3] 苏金龙, 吴振东. 储能技术在风力发电系统中的应用研究[J]. 电力设备管理, 2023(14): 69-71.
- [4] 解龙. 储能技术在风力发电系统中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023(4): 4.