

# 储能技术在风力发电系统中的应用探析

李俊奉

(云南龙源新能源有限公司 云南省昆明市 650000)

**摘要:** 本文旨在探讨储能技术在风力发电系统中的应用。风力发电,作为一种可再生能源,其主要挑战在于输出的间歇性和不可预测性。储能技术的融入为解决这一问题提供了有效途径。文章分析三种主要的储能技术:化学储能(以电池为代表)、机械储能(包括抽水蓄能和飞轮储能)、以及热能储能,并探讨其在风电系统中的具体应用和潜在效益。通过这些技术的综合应用,风力发电系统能够实现更高的能量稳定性和效率,进一步推动可再生能源的发展。

**关键词:** 储能技术; 风力发电系统; 应用措施

**引言:** 风力发电作为一种清洁且可再生的能源,近年来得到了快速发展。然而,由于风速的不稳定性,风力发电的可靠性和稳定性一直是技术和经济上的挑战。储能技术的引入为缓解风力发电系统的波动性和不可预测性提供了解决方案。本文将详细分析储能技术在风电系统中的应用,包括化学储能、机械储能、和热能储能,以及其各自的优势和局限性。

## 1、风力发电原理简介

风力发电是利用风能转化为电能的过程。此过程主要通过风力发电机(也称为风力涡轮机)实现,其一般安装在高达80米(260英尺)的塔架上,以获取更稳定、更强劲的风力。风力涡轮机的关键组成部分包括叶片、轮毂、传动系统(齿轮箱)、发电机和塔架<sup>[1]</sup>。

风力发电的核心原理是空气动力学。当风吹过叶片(通常为三片)时,叶片上的气流速度不同导致叶片一侧产生较低的气压,从而使叶片旋转。这种旋转动力通过轮毂传递至传动系统。在大多数商用风力涡轮机中,传动系统通常包括一个能将低速旋转(约30-60转/分钟)转换为高速旋转(约1000-1800转/分钟)的齿轮箱。

高速旋转的动力最终传递到发电机,通常是一种同步或异步类型的发电机。发电机内部的转动产生了交变电流(AC),电压通常在690V左右。然后通过变压器将这个电压升至适合电网的级别(例如33kV或更高)。

风力涡轮机的设计也考虑了风速的变化。大多数商用涡轮机设计的切入风速(即开始发电的最低风速)为3-4米/秒(约10.8-14.4公里/小时),而切出风速(即为了安全停止发电的最高风速)通常为25米/秒(约90公里/小时)<sup>[2]</sup>。

## 2、储能技术在风力发电中的作用

### 2.1 平衡供需波动

风力发电的主要挑战是其间歇性和不可预测性。风速的波动导致风力发电的输出不稳定,这对电网的供电

稳定性和电力需求的满足构成了挑战。储能技术在此发挥着关键作用,它能够存储在风速高时多余的电力,并在风速低或无风的情况下释放这些电力。

例如,当风力发电系统产生的电力超过需求时,多余的电力可以用来充电化学电池(如锂离子电池)或用于抽水蓄能系统。在此当需求高于风力发电机的产能时,储存的能量可以被重新输送到电网,从而平衡供需差异。

### 2.2 提高系统稳定性

储能技术还有助于提高整个电力系统的稳定性。由于风力发电的波动性,电网可能面临频率和电压的不稳定,这对连接到电网的设备和用户来说是不利的。储能系统能够快速响应这些波动,提供所需的调节服务,例如频率调节和电压支持。

此外,储能系统还能提供备用电源和应急响应,以应对突发的电力供应中断。在极端天气或技术故障导致风力发电机停运时,储能系统可以暂时供电,确保电网的连续运行和可靠性<sup>[3]</sup>。

## 3、储能技术类型及其在风电中的应用

### 3.1 化学储能——电池

化学储能技术,尤其是电池储能系统(BESS),在风力发电领域的应用正变得越来越普遍。电池储能系统通常使用锂离子电池,因其高能量密度(150-250 Wh/kg)和长寿命(一般可达3000至5000个充放电周期)而受到青睐。

在风力发电系统中,BESS的核心作用是在风力发电量超出即时需求时储存能量,并在需求高于风力发电量时释放这些能量。例如,一个典型的中型风电场(产能约50兆瓦,MW)可能配备一个20兆瓦时(MWh)的BESS,以平衡短期内的产能波动。

BESS的配置需要考虑到电池容量(MWh)和功率输出(MW)。容量决定了系统可以储存多少电能,而功率输出决定了它可以以多快的速度充放电。例如,20 MWh/5

MW 的 BESS 可以在 4 小时内充放满电。

此外, BESS 的管理系统 (BMS) 对于确保电池性能和安全至关重要。BMS 监控电池的电压、温度、充放电状态, 以及进行故障诊断和预测维护, 从而延长系统的使用寿命。

### 3.2 机械储能——抽水蓄能、飞轮

#### (1) 抽水蓄能

抽水蓄能 (Pumped Storage Hydroelectricity, PSH) 是目前最大规模和技术成熟度最高的机械储能方法之一。其基本原理是利用低峰电力将水从低处抽送到高处的蓄水池, 然后在高峰时期通过水力发电的方式释放这些水, 从而发电。

PSH 站的核心组成包括两个水库: 位于较高位置的上游水库和一个位于较低位置的下游水库。这两个水库之间通过水泵和水轮机连接。在电力需求低时, 电动水泵使用低价电力将水从下游水库抽升到上游水库。当电力需求增加, 尤其是在风速不足以满足电力需求的时候, 蓄水池的水通过水轮机释放下来, 转动发电机产生电力。

如, 中型 PSH 站可能拥有几百兆瓦 (MW) 的装机容量。例如, 具有 300 MW 装机容量的 PSH 站, 其上游水库容量可达到数百万立方米, 能够在需求高峰期提供几小时的连续电力输出。为了实现有效的能量存储, PSH 站通常需要具有至少 100 米的高差 (即上下水库之间的高度差), 以提供足够的势能。在抽水蓄能中, 转换效率是一个关键参数, 通常在 70% 到 80% 之间。这意味着在抽水 and 发电过程中, 大约有 20% 到 30% 的能量会损失。不过, 考虑到其提供的大规模储能能力和电力网调节灵活性, 这种效率损失通常是可接受的。

抽水蓄能的优势在于它的储能容量大, 适合长时间储存能量, 且寿命长, 可达数十年。它为风电等可再生能源的间歇性提供了有效的补充, 特别是在风力发电量超过实时需求或风速不足以产生电力的时候。此外, PSH 还能提供其他电网辅助服务, 如频率调节和紧急备用电源, 进一步提高电网的稳定性和可靠性。

#### (2) 飞轮储能

飞轮储能系统 (Flywheel Energy Storage Systems, FESS) 是一种利用旋转物体的动能来存储和释放电能的技术。这种系统特别适合于提供短期的高功率输出, 因此在稳定电网、提供瞬时响应和峰值削减方面非常有效。

飞轮储能的核心是一个高速旋转的圆盘, 通常由钢或复合材料 (如碳纤维) 制成。这些圆盘可以在真空室内运行, 以减少空气阻力, 且常采用磁悬浮轴承来减少摩擦, 从而提高效率。在充能阶段, 电机将电能转换为

机械能, 加速飞轮旋转; 在放能阶段, 飞轮的旋转动能通过发电机转换回电能。

飞轮的能量密度和功率密度取决于其材料和设计。一般来说, 飞轮可以达到约 100 至 200 Wh/kg 的能量密度, 转速可达数万转/分钟。例如, 一个具有 25 kWh 能量存储容量和 100 kW 功率输出的飞轮系统, 其圆盘可能需要旋转至约 20,000 至 30,000 RPM。

### 3.3 热能储能

热能储能技术有多种形式, 其中最常见的是感热储能、潜热储能和化学热储能。

感热储能 (Sensible Heat Storage): 此技术涉及加热或冷却一物质 (如水、沙或岩石), 而不改变其相态。例如, 大容量的水罐可以用来储存热能, 水被加热后储存热量, 在需要时通过热交换器释放热能。感热储能系统简单、成本低, 但能量密度相对较低。

潜热储能 (Latent Heat Storage): 这种方式涉及物质相变过程 (如从固态转变为液态), 在这个过程中储存和释放能量。潜热储能通常使用相变材料 (Phase Change Materials, PCMs), 如盐类或有机化合物, 它们在融化和凝固时吸收和释放大量热能。PCMs 的优势在于高能量密度和能够在恒定温度下释放能量。

化学热储能 (Thermochemical Storage): 这是一种通过化学反应储存和释放热能的方法。它涉及可逆的化学反应, 可以在不同的温度下进行吸热和放热。这种类型的储能具有高能量密度和长期储能能力, 但技术复杂性和成本较高。

在风力发电系统中, 热能储能可用于调节电力生产。当风力发电量超出需求时, 多余的电能可以转换为热能储存起来。在风速不足以满足电力需求时, 储存的热能可以转换回电能, 或用于加热以提供直接的能源需求。

结束语: 综上所述, 储能技术在风力发电系统中的应用展示了显著的潜力, 不仅在于平衡风力发电的间歇性和不可预测性, 也在于提高整个电力系统的稳定性和效率。虽然每种储能技术都有其特定的应用场景和限制, 但技术的结合使用能够优化风电系统的性能, 进一步促进可再生能源的普及和可持续性。

#### 参考文献:

- [1] 殷学雷. 储能技术在风电并网中的应用分析[J]. 光源与照明, 2022(8):168-170.
- [2] 姜飞. 储能技术在解决大规模风电并网问题中的应用前景[J]. 电力系统装备, 2021(16):22-23.
- [3] 王瀚. 风电并网中的储能技术的探讨[J]. 工程管理, 2022, 3(7):1-3.