

300MW 风电与 350MW 火电机组耦合的调峰优化与经济评估

辛 亮

吉林吉长电力有限公司 吉林省四平市 136001

摘 要: 在能源转型加速推进的大背景下, 风电等可再生能源凭借清洁、可持续等优势, 装机规模持续扩大。本文聚焦于 300MW 风电与 350MW 火电机组耦合系统, 深入剖析该系统在调峰方面的关键问题。先分析风电出力具有间歇性、波动性等特性, 对电力系统调峰产生的复杂影响; 接着阐述火电机组在调峰过程中面临响应速度、调峰深度受限等问题。基于此, 提出耦合系统的调峰优化方法。同时, 从成本投入、收益获取等多个维度开展经济评估。研究结果表明, 通过合理构建风电与火电机组耦合系统, 能够有效提升系统整体调峰能力, 进而带来显著的经济效益, 对促进可再生能源消纳和保障电力系统稳定运行意义重大。

关键词: 300MW 风电; 350MW 火电机组; 耦合; 调峰优化; 经济评估

1. 引言

随着全球对气候变化问题的关注度不断提高, 能源转型成为各国发展的重要战略方向。我国也积极推动能源结构调整, 大力发展可再生能源, 其中风电作为清洁、可再生的能源形式, 近年来装机规模持续快速增长。然而, 风电出力具有间歇性和波动性的特点, 其大规模并网给电力系统的调峰带来了巨大挑战。传统火电机组虽然具有一定的调峰能力, 但在应对风电出力的快速变化时, 往往存在调节速度慢、调节范围有限等问题。因此, 探索风电与火电机组耦合的调峰优化模式, 提高电力系统的灵活性和适应性, 成为当前能源领域研究的热点问题。本文以 300MW 风电与 350MW 火电机组耦合系统为研究对象, 分析其调峰优化策略与经济性, 为实际工程应用提供参考。

2. 风电与火电机组调峰现状分析

2.1 风电出力特性及调峰需求

风电的出力主要取决于风速等自然因素, 具有明显的间歇性和波动性。在一天内, 风电出力可能从接近零迅速上升至满发状态, 也可能在短时间内大幅下降。这种不稳定的出力特性使得风电难以像传统火电机组那样按照计划稳定发电, 给电力系统的实时平衡带来了困难。当风电出力较大时, 需要其他电源减少发电出力, 以维持电力系统的功率平衡; 而当风电出力较小时, 又需要其他电源增加发电出力, 满足负荷需求。因此, 风电的大规模并网对电力系统的调峰能力提出了更高的要求^[1]。

2.2 火电机组调峰能力及面临的问题

火电机组是目前电力系统中最主要的调峰电源之一, 其调峰能力主要通过改变机组出力来实现。一般来说, 火电机组可以在一定范围内进行调峰, 但调峰过程会带来一系列问题。一方面, 频繁的调峰运行会加速机组设备的磨损, 降低机组的使用寿命, 增加设备的维护成本。例如, 汽轮机的叶片在频繁的负荷变化过程中会受到交变应力的作用, 容易产生疲劳裂纹, 影响机组的安全运行。另一方面, 深度调峰时, 机组的燃烧效率会降低, 煤耗增加, 同时排放的污染物也会增多, 对环境造成不利影响。此外, 火电机组的调峰速度相对较慢, 难以快速响应风电出力的快速变化, 在一定程度上限制了其对风电的消纳能力。

3. 300MW 风电与 350MW 火电机组耦合调峰优化策略

3.1 耦合系统调峰原理

将 300MW 风电与 350MW 火电机组进行耦合, 主要是利用火电机组的调峰能力来平衡风电出力的波动。当风电出力增加时, 适当减少火电机组的出力; 当风电出力减少时, 增加火电机组的出力, 从而保证电力系统的总出力与负荷需求相匹配。通过这种耦合方式, 可以提高风电的消纳能力, 减少弃风现象的发生, 同时降低火电机组的调峰压力, 提高电力系统的稳定性和可靠性^[2]。

在实际运行中, 耦合系统需要根据风电的实时出力和负荷需求, 动态调整火电机组的出力。这需要建立一套完善的调度控制系统, 实现对风电、火电机组的实时监测和精确

控制。同时,还需要考虑机组的安全运行约束,如机组的最小技术出力、爬坡率等,确保调峰过程的安全可靠。

3.2 调峰优化方法

3.2.1 基于风电预测的提前调度

准确的风电预测是实现耦合系统调峰优化的关键。通过对风电场的历史数据和气象信息进行分析,采用先进的预测算法,可以较为准确地预测未来一段时间内的风电出力。根据风电预测结果,提前调整火电机组的出力计划,使火电机组在风电出力变化前做好相应的准备。为了提高风电预测的准确性,可以结合多种预测方法,如物理方法、统计方法和人工智能方法等。物理方法基于大气物理原理,通过建立气象模型来预测风速和风向,进而预测风电出力;统计方法通过对历史数据进行分析,建立风电出力与气象因素之间的统计关系,进行预测;人工智能方法如神经网络、支持向量机等,可以自动学习数据中的复杂规律,提高预测的精度。

3.2.2 火电机组灵活运行模式调整

为了提高火电机组的调峰能力,可以对火电机组的运行模式进行调整。一方面,采用先进的控制技术和设备,提高机组的调节速度和调节精度,使其能够更快地响应风电出力的变化^[3]。例如,安装快速响应的调速系统和自动发电控制系统,实现对机组出力的精确控制。另一方面,优化机组的燃烧过程,提高机组在低负荷运行时的效率和稳定性,扩大机组的调峰范围。此外,还可以对火电机组进行灵活性改造,如增加机组的蓄热装置、采用变转速技术等。蓄热装置可以在机组高负荷运行时储存热量,在低负荷运行时释放热量,提高机组的低负荷运行能力;变转速技术可以使机组在不同的负荷下保持较高的效率,提高机组的调峰性能。

3.2.3 储能系统的辅助调峰

在耦合系统中引入储能系统,可以进一步提高系统的调峰能力。储能系统可以在风电出力较大时储存多余的电能,在风电出力不足时释放储存的电能,起到平滑风电出力波动的作用。常见的储能系统包括电池储能、抽水蓄能等。电池储能具有响应速度快、布置灵活等优点,但成本相对较高;抽水蓄能具有储能容量大、寿命长等优点,但受地理条件限制较大。根据实际情况选择合适的储能系统,并与风电和火电机组进行协同运行,可以实现更好的调峰效果。

4. 300MW 风电与 350MW 火电机组耦合经济评估

4.1 成本分析

4.1.1 风电成本

风电的成本主要包括建设成本、运行维护成本和折旧成本等。建设成本主要包括风机设备采购、安装调试、基础设施建设等方面的费用。一般来说,300MW 风电场的建设成本较高,但随着技术的进步和规模的扩大,单位千瓦的建设成本呈下降趋势。运行维护成本主要包括设备的日常维护、检修、保养等费用,以及人员工资等。折旧成本是将风电场的建设成本按照一定的折旧年限进行分摊的费用。根据本单位情况,风电电价按照 0.29 元/kWh,年利用小时数按 2700h 计算,30 万千瓦风电场的年发电量为 8.1 亿 kWh,年电费收入为 2.349 亿元。

在风电成本中,设备采购成本占据了较大比例。随着国内风电设备制造技术的不断提高,国产风机的质量和性能逐渐提升,价格也相对较为合理。同时,风电场的选址和布局也会对成本产生影响,合理的选址可以降低基础建设成本和输电成本^[4]。

4.1.2 火电成本

火电的成本主要包括燃料成本、运行维护成本、折旧成本和环保成本等。燃料成本是火电的主要成本之一,其大小取决于煤炭价格和机组煤耗。运行维护成本包括设备的日常维护、检修、保养等费用,以及人员工资等。折旧成本是将火电厂的建设成本按照一定的折旧年限进行分摊的费用。环保成本是为了满足环保要求,对机组排放的污染物进行治理的费用。根据本单位情况,火电电价按照 0.3731 元/kWh,年利用小时数按 3500h 计算,350MW 火电机组的年发电量为 12.25 亿 kWh,年电费收入为 4.570475 亿元。在耦合系统中,火电机组通过调峰运行,虽然会增加一定的运行维护成本和煤耗,但可以提高风电的消纳能力,减少弃风损失,从整体上降低系统的运行成本。

煤炭价格的波动对火电成本影响较大。为了降低燃料成本,火电厂可以与煤炭供应商签订长期合同,锁定煤炭价格;同时,优化机组的燃烧过程,提高煤炭的燃烧效率,降低煤耗。此外,随着环保要求的不断提高,火电厂需要投入更多的资金用于环保设施的建设和运行,环保成本也呈上升趋势。

4.1.3 耦合系统额外成本

耦合系统除了风电和火电本身的成本外，还可能存在一些额外成本，如储能系统成本、耦合设备成本、通信控制成本等。储能系统的成本包括储能设备的采购、安装、运行维护等费用。耦合设备和通信控制成本是为了实现风电、火电机组和储能系统之间的协同运行而投入的费用。这些额外成本会增加系统的总投资，但从长远来看，如果能够提高系统的调峰能力和经济效益，是值得投入的。

例如，如果引入电池储能系统，其成本主要包括电池组、电池管理系统、功率转换系统等设备的采购和安装费用，以及后续的运行维护费用。耦合设备成本包括变压器、开关设备等设备的购置费用，通信控制成本包括通信线路的铺设、控制系统的开发等费用。在进行经济评估时，需要综合考虑这些额外成本对系统经济性的影响。

4.2 收益分析

4.2.1 电量收益

耦合系统的主要收益来自于电量的销售。通过优化调峰运行，提高了风电的消纳能力，减少了弃风现象的发生，增加了风电的发电量。同时，火电机组在调峰过程中，虽然出力有所波动，但总体发电量也有一定的保障。因此，耦合系统的总发电量相对较高，电量收益也相应增加。以本单位为例，假设通过耦合调峰优化，弃风率降低 5%，30 万千瓦风电场的年发电量可增加 0.405 亿 kWh，按风电电价 0.29 元/kWh 计算，年增加电费收入 1174.5 万元。

此外，耦合系统的稳定运行还可以提高电力系统的供电可靠性，减少因电力短缺而造成的经济损失，间接增加电量收益。例如，在一些重要工业园区或城市中心，电力供应的稳定性对企业的生产和居民的生活至关重要，耦合系统的应用可以有效保障电力供应，提高用户满意度。

4.2.2 调峰补偿收益

在一些电力市场中，为了鼓励电源参与调峰，会对参与调峰的电源给予一定的补偿。火电机组在耦合系统中承担了主要的调峰任务，通过参与调峰可以获得相应的调峰补偿收益。调峰补偿的标准和方式因地区而异，一般来说，深度调峰的补偿标准较高。火电机组通过优化运行模式，提高调峰能力，争取更多的调峰补偿收益，可以进一步提高耦合系统的经济效益^[5]。

4.2.3 环保收益

风电作为一种清洁能源，其大规模并网可以减少对传统化石能源的依赖，降低污染物排放，带来显著的环保收益。耦合系统的运行提高了风电的消纳能力，相当于增加了清洁能源的发电量，减少了煤炭的消耗和污染物的排放。根据相关标准，可以计算出耦合系统减少的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放量，并将其折算为环保收益。

4.3 综合经济性评估

综合考虑耦合系统的成本和收益，可以对其进行综合经济性评估。通过计算净现值、内部收益率等指标，判断耦合系统在经济上是否可行。如果净现值大于零，内部收益率高于行业基准收益率，说明耦合系统具有良好的经济性，值得投资建设。在实际评估过程中，需要考虑各种不确定因素，如风电出力的不确定性、煤炭价格的波动、政策的变化等，采用敏感性分析等方法，评估这些因素对耦合系统经济性的影响，为决策提供更加可靠的依据。

例如，在进行敏感性分析时，可以分别假设风电出力增加或减少一定比例、煤炭价格上涨或下跌一定幅度、调峰补偿标准提高或降低一定水平等，观察这些因素变化对净现值和内部收益率的影响。通过敏感性分析，可以找出对耦合系统经济性影响较大的因素，并制定相应的应对措施，降低投资风险。

5. 结论与展望

5.1 结论

本文对 300MW 风电与 350MW 火电机组耦合的调峰优化与经济评估进行了研究。通过分析风电和火电机组的调峰现状，提出了基于风电预测的提前调度、火电机组灵活运行模式调整和储能系统辅助调峰等优化策略。从成本和收益两个方面对耦合系统进行了经济评估，结果表明，合理耦合可以提高系统的调峰能力，增加电量收益、调峰补偿收益和环保收益，具有良好的经济性。

5.2 展望

未来，随着风电技术的不断进步和电力市场的不断完善，风电与火电机组耦合的调峰优化模式将得到更广泛的应用。一方面，需要进一步提高风电预测的准确性和火电机组的调峰能力，降低耦合系统的运行成本。另一方面，需要完善电力市场机制，建立合理的调峰补偿机制，提高电源参与调峰的积极性。同时，随着储能技术的不断发展，储能系统

在耦合系统中的应用前景广阔,将进一步提高系统的灵活性和可靠性。相信在各方的共同努力下,风电与火电机组耦合的调峰优化模式将为我国能源转型和电力系统的稳定运行做出更大的贡献。

参考文献:

[1] 郭庆丰.火电机组深度调峰经济性分析[J].湖南电力,2019,39(02):21-24.

[2] 孔德奇,宋浩,邓海涛,等.350MW超临界机组深度调峰下协调控制系统优化[J].工业控制计算机,2021,34(03):9-11.

[3] 林俐,邹兰青,周鹏,等.规模风电并网条件下火

电机组深度调峰的多角度经济性分析[J].电力系统自动化,2017,41(07):21-27.

[4] 李勇.火电机组深度调峰关键技术问题研析[J].电力设备管理,2025,(10):114-116.

[5] 彭炯兰.300 MW 机组供热优化及灵活性改造分析[J].能源研究与管理,2022,14(03):131-136.

作者简介: 辛亮 出生年月日:1972.07.2 性别:男 民族:汉 籍贯:吉林省四平市 学历:大学本科 职称:工程师 从事的研究方向:电站环保、烟气脱硫、脱硝、除尘,新能源项目开发,煤电耦合新能源技术,清洁供暖等