

# 基于模型驱动的电力系统安全稳定分析与控制策略研究

王秋君

内蒙古大青山实验室有限公司 内蒙古自治区呼和浩特市 017000

**摘要:** 在电力系统中,控制技术对其安全与稳定运行具有重要作用,电力企业应加强对系统稳定性与安全性的管理,确保电力系统在安全可靠的环境中顺畅运行,以保障系统的长期稳定,促进电力企业的经济效益提升。目前电力系统已引入自动化监控技术,并在提升安全性与稳定性方面取得一定成效,但具体规划与实施过程中仍需优化控制策略。基于此,本文对基于模型驱动的电力系统安全稳定分析与控制策略进行探讨。

**关键词:** 模型驱动;电力系统;安全稳定分析;控制

## 引言:

电力系统作为现代社会能源供应的核心组成部分,与人民群众的日常生活及国家经济的可持续发展息息相关。若供电设施运行状态无法保持稳定,会引发大规模的断电事故,进而造成严重的社会经济损失。研究电力设施的安全与稳定控制,探索能够满足社会发展需求的先进管控方法,能够实现电力负载的科学分配,提升我国电力系统的供电能力,确保电力系统的安全平稳运行。

## 1. 案例分析

以某地电力系统为例,该系统涵盖多个分布式能源和大规模风电、光伏接入。在2023年11月的日间负荷高峰期,系统总负荷达到8500MW,风电发电量为2200MW,光伏发电量为1500MW。由于风光发电的波动性,系统频率在14:30-15:00期间出现0.5 Hz的波动,导致部分区域电压超限。为此,调度中心利用广域调度平台发出指令,启动全区域储能系统,补充了约400MW的功率支持,同时优化功率流分配,使系统频率恢复至正常范围。基于大数据的实时监测与模型预测,系统成功避免了黑启动风险。

## 2. 当前电力系统特点

### 2.1 新能源装机容量大

新能源装机容量的大幅增加使电力系统在供电侧的结构发生变化,光伏发电比例不断上升,导致电力系统运行模式面临新的挑战。新能源装机容量提高了电网的分布式发电比例,传统集中式发电系统的运行模式逐渐被打破,取而代之的是分布式发电单元的接入,从而增大电力系统的接入规模,提高电力系统的负荷波动性。在光伏并网情况下,因其

受光照条件影响,功率输出表现出较大波动性。新能源发电具有较低的内在调节性,使得电力系统运行面临灵活性要求,高比例新能源接入的情形下电网稳定性受到影响。由于风能和太阳能等资源的不确定性,新能源电源输出的不确定性在短期内难以准确预测,对电力系统的调度优化提出更高要求。

### 2.2 各类型储能容量规模大

储能容量的提升使电力系统更加灵活地应对电力供需不平衡的问题,可以在电力需求较低时进行充电储存,在负荷高峰时进行放电,以平衡供需差异,从而有效减缓电网波动对系统稳定性的影响。各类储能技术的容量不断扩展,电池储能系统充放电效率的提升实现大规模储能,为电力系统提供大规模的调节能力。抽水蓄能和压缩空气储能等传统储能技术具备较大的储能规模,能够平衡电网短期波动,提供应急备用电力。随着技术的不断进步,各类储能系统的规模逐渐增大,储能容量不断突破,以满足日益增长的电力系统调节需求。在多类型储能设备的支持下,电力系统能够在不同时段提供灵活的调节能力,有效应对各种突发事件。

### 2.3 电源类型多元化

风能、太阳能、地热能、生物质能等可再生能源的快速发展,使电力系统的电源构成愈加多样化。风电和光伏发电等可再生能源已成为电力系统的重要组成部分,其装机容量逐年增加,电力系统的供电来源依赖传统化石燃料发电,利用大规模接入可再生能源实现能源结构的优化,从而增加电力系统的运行灵活性,提高系统对外部能源波动的适应能力。随着分布式发电技术的普及,电力系统在实现大规模集

中式发电的同时也在积极发展小型分布式发电单元，光伏、风电等分布式发电系统的接入推动了电源类型的多元化。同时，电网对储能设备的广泛应用也为电力系统提供更加多样化的电源支持，储能系统在电力需求波动时提供调节能力，在新能源电源不确定性较高的情况下，储能系统更为重要<sup>[1]</sup>。

#### 2.4 负荷特性变化较大

在信息化水平提升的背景下，电力需求呈现出更加复杂的时空分布特征，负荷曲线的波动幅度较大，白天和夜间的负荷差异、工作日与休息日的负荷差异导致负荷变化的不可预测性增强，高峰负荷期间负荷波动更加剧烈。随着电力消费结构的多元化，电动汽车、空调等用电设备逐渐普及，负荷特性出现新的变化，从而加剧电力系统的负荷波动，也在不同负荷段内表现出不同的动态响应特性，增加负荷预测的复杂性。随着居民生活方式的变化，用电负荷在短时间内发生较大波动，天气变化、节假日等情况下负荷的波动性更强，使得电力系统的运行面临更大挑战，传统负荷预测模型难以完全适应这种快速变化的负荷模式。

### 3. 电力系统安全稳定运行面临的问题

#### 3.1 安全稳定形态复杂

新能源接入后，风电、光伏等可再生能源的波动性使得电力系统运行方式呈现出更多的非线性特征，系统的动态响应变得更加难以预测，传统线性稳定性分析方法逐渐难以适应复杂的系统行为。随着电力系统规模的不断扩展，电网拓扑结构变得愈加复杂，复杂的多层次、多时段的电力网络使电力系统在遭遇扰动时表现出多种不同的稳定形态，且这些形态之间的转换非常敏感，导致系统在某些情况下表现出不同的动态行为。电力系统中的多个控制层次与调度机制相互耦合，系统中的频率、电压等多重稳定性因素相互作用，导致系统安全稳定形态的多样性。在复杂的电力市场环境中，电力系统调度要考虑单一设备或单一区域的稳定性，还需要处理跨区域的功率传输与调度优化问题，从而增加电力系统安全稳定分析的难度。由于电力系统的高度互联，局部故障通过电网的耦合效应迅速蔓延，造成大范围的失稳现象，使系统的安全稳定形态更加难以捉摸<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 电力系统认知难度大

电力系统是多维度的复杂网络，涉及的设备种类繁多，状态变量众多，且系统内的各类设备之间相互作用，形成复杂的动态反馈机制。在该系统中，单一的设备故障会引发连

锁反应，导致全局性的稳定性问题，传统基于单一变量的分析方法已难以准确反映系统整体行为的复杂性。随着新能源的大规模接入，风电、光伏等可再生能源具有较强的波动性，电力系统的负荷、发电和功率流之间的动态耦合更加复杂，系统的运行状态难以用简单的数学模型进行精确描述，从而增加系统运行状态的预测难度，导致对电力系统行为的准确预测面临更大挑战。电力系统的稳定性受限于系统整体协调性，如何实时评估系统在扰动下的响应特性，预测系统的暂态行为，评估电网稳定性的能力，是当前电力系统面临的重要难题。电力系统的动态演化表现为多时间尺度的耦合行为，短期内存在频率波动，长期内则出现更为深远的影响，从而增加系统认知的复杂度。现代电力系统中引入的智能化技术使电力系统运行更加依赖大量的数据采集，从庞大的数据中提取出有效的信息，并根据复杂的运行条件进行动态评估，会增加电力系统的认知难度。

### 4. 基于模型驱动的电力系统安全稳定分析与控制策略

#### 4.1 深化电力系统频率稳定控制

为深化电力系统频率稳定控制，需构建基于多源信息融合的频率预测模型，结合电力系统负荷预测实时获取系统负荷的变化趋势，从而提前预判系统会出现的频率波动。在此过程中，动态负荷模型能够准确模拟不同情境下的系统频率响应特性。结合自动化频率调节机制，提升传统惯性控制和调频设备的响应能力，能够在系统发生频率波动时快速调节发电机组的输出功率，在大规模风电、光伏等新能源接入后，利用储能系统的辅助调频功能实现多维度的频率调节，为精确应对负荷突变带来的频率偏差，应强化频率调节的分布式控制策略，在区域性调度与广域调度之间实现无缝对接。区域内的频率调节可利用分布式发电机组的自适应调节来实现，广域调度则依赖电网的实时数据反馈，确保系统整体频率的平衡。采用先进的控制算法如基于模型预测控制，能够在频率偏差发生时依据电力系统的实时状态调整调节策略，保证频率调节的动态响应能力。同时，分析电力系统的频率响应灵敏度，结合电力系统的实际运行情况动态优化各类调节设备的功率输出，从而在系统中高比例可再生能源接入的背景下强化对频率响应的精准控制，降低风光发电波动带来的频率波动风险<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 建立广域调度控制模式

在建立广域调度控制模式时，应构建高效的广域监控与

调度平台,集成电网各层级、各区域的实时数据,结合多时段的预测数据,实现对电力系统全局状态的实时监控与动态分析。该平台应具备强大的数据处理能力,能够在数秒级内完成系统状态评估,提供精确的调度决策依据。广域调度控制模式需要强化区域间的协同调度能力,在不同区域电力需求存在差异时优化功率调度,实现跨区域的负荷平衡,优化发电资源配置。广域调度中心应根据电网负荷预测灵活调整各区域的负荷分配,以确保电力系统在稳定运行的前提下提升经济效益。为提高系统调度灵活性,广域调度平台需要引入先进的优化算法,如基于大数据和人工智能的实时调度算法,利用模型预测控制方法不断优化调度策略,使系统能够在复杂环境下实现精确调节。为应对新能源发电的波动性,广域调度模式需要加入储能系统的调度管理,使储能设备在高峰负荷期间提供快速的功率调节,平衡系统功率波动。在广域调度控制模式下,实时监测与应急响应能力尤为重要,当发生大规模扰动时,调度系统应能够快速启用备用电源,启动负荷调度,及时恢复系统的稳定性<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 构建新型电力系统的认知体系

新型电力系统认知体系的构建需要基于大数据与人工智能技术的实时监测系统,对电网运行参数、负荷变化等多源信息进行实时处理,构建全面的电力系统数据感知平台。该平台应具备强大的数据挖掘与分析能力,能够对系统的实时状态进行全面评估,并结合历史运行数据与预测模型实现对电力系统运行状态的动态预测。构建新型电力系统的认知体系还需要深入整合系统级和设备级的模型,建立多层次的数据驱动模型,全面反映电力系统的动态特性。可以采用基于深度学习的负荷预测模型,结合电网拓扑优化算法精确预测系统在不同运行条件下的响应行为,进而提高系统对各种扰动的应对能力。为增强电力系统的自适应调度能力,还需在认知体系中加入智能决策模块。运用强化学习与模型预测控制等先进算法实时调整系统调度策略,实现对动态负荷、可再生能源波动的灵活应对。认知体系还应关注系统运行过程中的不确定性,发展更为精确的系统辨识与建模技术,集成多源数据,动态优化系统的运行模型,为决策提供更加可靠的支持。

#### 4.4 完善电力系统技术支持体系

为完善电力系统技术支持体系,需加强电力系统的自动

化设备建设,应用智能变电站,实现自动化数据采集与传输,确保系统快速响应各种异常情况,减少人工干预。自动化设备的引入能够提高电力系统的运行效率,结合实时检测与诊断系统故障提前发现潜在问题,确保系统的稳定性。同时,完善电力系统的控制与优化软件工具,应用基于大数据与人工智能的调度优化软件,实现对电力系统各个环节的精准控制,并结合先进的模型驱动方法优化电力系统的负荷调度,使电力系统在面对复杂负荷波动时快速做出反应,保持系统的安全稳定。还应重视电力系统的网络安全与信息安全,构建强有力的电力系统信息安全防护体系,防范网络攻击和数据泄露,确保控制系统的安全性。电力系统技术支持体系还需加强技术人才的培养,确保相关技术人员具备足够的专业素质,能够熟练掌握电力系统的运行调度规则,及时发现并解决系统运行中的技术问题,并能够运用先进的仿真分析工具进行电力系统稳定性分析<sup>[5]</sup>。

#### 结束语:

综上所述,电力系统的安全稳定运行是确保电力可靠供应的根本保障。我国电力系统能够长时间保持安全稳定,得益于广大电力从业人员的共同努力。在此背景下,电力系统的运行管理人员应积极开展电力系统频率特性及稳定性控制的研究,建立高效的广域调度控制机制,构建新型电力系统的认知框架,提升电力系统的数字化感知能力,并加强其灵活调节能力,以确保电力系统的安全稳定地运行。

#### 参考文献:

- [1] 张建新,常东旭,邱建,等.适应新型电力系统的安全稳定控制系统及装置设计方法[J].电网与清洁能源,2023,39(12):10-19.
- [2] 关于加强新形势下电力系统稳定工作的指导意见(下)[J].大众用电,2023,38(12):7-8.
- [3] 本刊编辑部.保持电力系统稳定运行向好态势推动电力高质量发展再上新台阶[J].农村电工,2023,31(12):1.
- [4] 关于加强新形势下电力系统稳定工作的指导意见(上)[J].大众用电,2023,38(11):7-8.
- [5] 衣秀清,刘静.人工智能在电力系统安全稳定控制中的应用[J].信息技术,2023,(11):126-131+137.