

新型电力系统转型下可靠性提升策略研究

张玉龙

黑龙江八一农垦大学

DOI:10.32629/etd.v7i6.21010

[摘要] 双碳目标推动我国电力系统向高比例新能源、高比例电力电子设备的新型电力系统快速转型。风电、光伏出力具有天然波动性,电力电子并网设备缺乏电网惯量支撑,传统电力系统运行平衡机制被打破,电网供电可靠性面临显著压力。供电可靠性是能源安全与电网平稳转型的核心保障。首先阐述电力系统充裕度、安全性两大可靠性核心内涵,分析能源转型背景下可靠性保障的现实价值;从电源结构变革、双高电网特性、网架运维短板、新型负荷接入四个方面,剖析电力系统现存可靠性风险;围绕源网荷储协同规划、关键电力技术创新、全生命周期运维管控、负荷侧柔性调控四大维度,构建针对性可靠性提升策略;结合郑州自愈配电网工程实例,验证策略落地效果。研究可为电网运维改造、新能源并网管控提供参考,助力电力系统安全低碳协同发展。

[关键词] 新型电力系统; 供电可靠性; 源网荷储协同; 构网型技术; 配电网自愈

中图分类号: U223 **文献标识码:** A

Research on Reliability Enhancement Strategies in the Transformation of New Power Systems

Yulong Zhang

Heilongjiang Bayi Agricultural University

[Abstract] The dual-carbon goals drive the rapid transformation of China's power system toward a new model with high proportions of renewable energy and power electronic devices. Wind and solar power generation exhibit inherent volatility, while power electronic grid-connected equipment lacks grid inertia support, disrupting the operational balance mechanisms of traditional power systems and significantly straining grid supply reliability. Supply reliability serves as the core safeguard for energy security and stable power system transition. First, the two fundamental reliability dimensions of power system adequacy and safety are elaborated, analyzing the practical value of reliability assurance under energy transition. The existing reliability risks in the power system are dissected from four aspects: power source structural reforms, "dual-high" grid characteristics, grid infrastructure operational shortcomings, and the integration of new loads. Targeted reliability enhancement strategies are formulated around four dimensions: coordinated planning of generation-grid-load-storage, critical power technology innovation, lifecycle operation and maintenance control, and flexible load-side regulation. The effectiveness of these strategies is validated through the Zhengzhou self-healing distribution network project. This research provides references for grid operation and maintenance upgrades, as well as renewable energy grid integration management, supporting the safe and low-carbon collaborative development of the power system.

[Keywords] New power system; Power supply reliability; Source-grid-load-storage coordination; Grid-forming technology; Distribution network self-healing

引言

随着国内新能源装机规模持续攀升,风电、光伏已取代火电成为我国第一大电源,电力系统正式进入双高转型新阶段。新能源机组依托电力电子装置并网,电网同步机组不断退出,系统转动惯量持续下降,电网抗扰动能力减弱。叠加极端天气多发、用

电负荷峰谷差持续拉大,电网频率波动、区域性供电缺口、配电网故障扩大等问题频发,供电可靠性短板愈发明显。

目前国内相关研究多聚焦单一电网技术优化,缺少覆盖源网荷储全环节的系统性可靠性提升方案,理论与现场工程应用适配度不足。基于此,结合新型电力系统运行实际,

系统梳理转型阶段可靠性风险, 搭建一体化防控与提升体系, 并依托实际工程验证方案可行性, 为电网安全稳定运行提供可行思路。

1 电力系统可靠性的核心内涵与时代价值

1.1 电力系统可靠性的核心内涵

依据行业标准与国际能源署定义, 电力系统可靠性分为充裕度与安全性两大维度, 覆盖电网静态与动态全运行场景。充裕度属于静态可靠性, 指电网在设备检修、常规故障前提下, 持续满足全域用电负荷的供电能力, 主要考核电源装机、输电通道、备用容量匹配水平, 保障基础电量供应, 规避供电缺口与限电问题。

安全性属于动态可靠性, 侧重电网故障扰动后的应急调控能力, 面对线路短路、负荷突变、新能源出力波动、极端天气等扰动, 系统可自主稳定电压与频率, 阻止故障连锁扩散, 防范大面积停电事故。区别于传统电网, 新型电力系统可靠性除停电指标外, 还新增电能质量、系统灵活性、极端工况抗风险能力等评价维度, 评价体系更加全面。

1.2 新型电力系统可靠性的时代价值

民生层面, 智慧城市、轨道交通、数据中心等新业态快速发展, 用户对供电质量要求持续提升, 短时停电与电压波动都会影响公共服务运转, 稳定可靠供电是保障民生与社会平稳运行的基础。

能源转型层面, 新能源出力不可控是制约新能源消纳的关键难题, 完善的可靠性保障体系可平抑新能源出力波动, 缓解弃风弃光与用电高峰缺电矛盾, 保障新能源规模化并网落地。

经济产业层面, 精密制造、化工等连续型生产行业对供电稳定性要求严苛, 微小供电扰动即可造成经济损失。提升电网可靠性能够优化营商环境, 为实体经济发展提供稳定能源支撑。

2 新型电力系统转型期可靠性面临的主要挑战

2.1 电源结构重构, 供需失衡风险上升

传统电网以可控同步火电、水电为主, 电源出力可灵活跟随负荷调节。新型电力系统转型过程中, 常规可控电源装机持续缩减, 间歇性新能源成为供电主体, 电源侧可控能力大幅下降。风电、光伏受气象条件约束, 具备明显反调峰特性, 用电低谷新能源出力过剩, 用电高峰出力不足。同时新能源出力预测精度有限, 电网备用容量配置难度加大, 供需双侧双重不确定性, 大幅提升区域性电力缺口风险。

2.2 双高电网特性, 系统稳定支撑不足

传统同步机组自带转动惯量, 可自主抑制电网扰动, 具备完善的调频、调压与短路支撑能力。而新能源逆变器无转动惯量, 无法为电网提供原生支撑。同步机组持续退役导致电网整体惯量不足, 故障传播速度更快、影响范围更广, 易引发频率电压振荡问题。同时海量电力电子设备并网带来谐波、无功扰动问题, 电网故障机理复杂化, 传统继电保护与稳定控制策略无法适配当前电网运行工况。

2.3 电网网架薄弱, 传统运维模式滞后

我国区域电网发展不均衡, 新能源送端电网、县域配电网网架结构偏弱, 跨区域电力互济能力不足, 新能源集中并网易引发线路潮流越限、断面阻塞问题。极端天气频发也加剧电力设备故障概率。现阶段电网仍以人工巡检、定期检修为主, 故障被动处置模式效率低下, 无法适配电网快速波动的运行特征。此外分布式光伏、充电桩等新型用电主体无序并网, 进一步加大电网运行风险。

2.4 新型负荷接入, 电网调控难度加大

电动汽车、分布式储能、柔性工业负荷等新型负荷大规模接入电网, 打破了传统负荷稳定单向用电的特征。新型负荷双向互动、随机波动的用电特点, 易造成配电网电压异常、谐波超标等电能质量问题。加之当前负荷侧需求响应机制不完善, 柔性负荷调节潜力未充分挖掘, 电网动态供需调控压力持续增加。

3 新型电力系统可靠性提升关键策略

针对新型电力系统转型期可靠性面临的多重挑战, 结合电力系统运行规律与行业发展趋势, 从源网荷储协同、技术创新、全流程管控、负荷侧优化四个维度, 构建全方位、多层次、全链条的可靠性提升体系, 破解转型期电力安全稳定运行难题。

3.1 优化源网荷储协同规划, 夯实系统充裕度基础

源网荷储协同是提升新型电力系统供电可靠性、平衡供需矛盾的核心手段, 需要打破电源、电网、负荷、储能独立规划运行的壁垒, 搭建全周期协同管控机制, 从规划源头补齐电网运行短板, 防范供需失衡风险。电源侧需优化电源配比结构, 保留优质火电、水电作为系统兜底备用电源, 依托同步机组稳定的调频、调峰能力, 平抑新能源出力波动。同时收紧新能源并网准入标准, 完善机组涉网性能考核体系, 强制提升新能源出力预测、低电压穿越等并网能力, 降低新能源随机波动对电网的冲击。电网侧聚焦主干网架与配电网短板补强, 加快特高压输电通道建设, 强化跨区域电力互济能力, 缓解局部供电阻塞问题。同时针对极端天气高发区域, 完成电网设备抗灾升级改造, 通过配电网分区隔离设计, 限制故障扩散范围, 减少大面积停电事故。负荷与储能侧将储能设施、分布式负荷统一纳入电网整体规划, 依托集中式与分布式储能削峰填谷、应急备用, 抵消新能源出力不确定性; 同步贴合负荷增长节奏推进电网扩容改造, 保障电网建设与负荷发展同步适配。

3.2 推进核心技术创新应用, 强化系统稳定支撑能力

技术创新是解决双高电网惯量不足、抗扰动力弱等痛点的关键。本文重点从并网技术、配网自愈、仿真评估三方面开展技术升级, 全面强化电网动态稳定支撑能力。首先规模化推广构网型并网技术, 替代传统跟网型设备, 弥补同步机组退役带来的电网惯量缺口。新能源送端依托构网型储能抑制功率振荡与暂态过电压, 负荷受端依托该技术提升电网短路支撑能力, 解决电网空心化运行难题。其次完善配电网自愈体系, 搭建馈线自动化智能保护系统, 依托大数据与物联网技术实现故障自动定位、隔离与负荷转供, 将传统小时级人工抢修缩短至秒级自动复电, 切实缩短用户停电时长。最后搭建适配新型电力系统的可靠性

仿真评估体系,结合蒙特卡洛模拟、电力专业仿真软件,量化各类风险对电网的影响,精准定位电网薄弱环节,实现故障风险前置预判与主动防控。

3.3 强化全流程管理与应急保障,降低故障运行风险

依托全生命周期精细化运维与应急管理体系,能够有效降低设备故障概率,提升电网故障应急处置能力。一方面建立电力设备全流程在线监测体系,依托物联网传感设备24小时监测电网一次、二次设备运行状态,以状态检修替代传统定期检修,提前排查设备老化、线路隐患等问题,从源头减少设备突发跳闸故障。另一方面完善极端天气专项应急机制,结合气象预警平台提前开展电网设防、负荷转移与物资储备工作,故障发生后依托智能调度平台快速研判故障范围,联动抢修队伍开展精准抢修,压缩停电处置时长。除此之外,完善电力辅助服务市场机制,明确储能、柔性负荷、构网型设备的并网补偿规则,以市场化手段调动各类主体参与电网调压、调频的积极性,构建常态化电网稳定保障机制。

3.4 提升负荷侧柔性调节,增强系统运行灵活性

面对电动汽车、分布式光伏等新型负荷无序并网带来的电网扰动问题,需要从技术、机制双向发力,挖掘负荷侧调节潜力,实现源网荷双向互动调控。技术层面加装谐波治理、无功补偿装置,针对性解决新型负荷引发的电压偏移、电能质量变差等问题,削弱负荷侧波动对主网的影响。机制层面全面推行常态化需求响应,引导工商业及居民用户错峰用电,盘活柔性负荷调峰潜力,缓解电网高峰供电压力。同时统一分布式电源、充电桩并网标准,规范有序充电与反向送电行为,改变传统源随荷动的单向调控模式,构建双向协同的电网运行模式,全面提升电网运行灵活性与供电可靠性。

4 工程案例: 郑州自愈式配电网可靠性实践

配电网直接面向终端用户,其运行水平直接决定终端供电可靠性。为解决配电网故障处置慢、停电范围大等痛点,郑州供电公司开展自愈式配电网智能化改造,搭建四级配电网自愈体系,配套自动化保护终端,实现配电网故障无人化自愈处置。

项目运行数据显示,改造后配电网全年完成256次自动故障自愈,用户平均停电时长同比下降19.2%,单次故障可在35秒内完成负荷转供,实现用户无感停电。项目同步采用带电作业施工,减少上千次计划停电。目前郑州主城区配电网自愈覆盖率达88%,县域电网改造稳步推进。该案例证明,智能化自愈技术结合精细化运维,可有效提升配电网供电可靠性,具备大范围推广价值。

5 结论

新型电力系统双高转型彻底改变传统电网运行机理,电源可控性下降、电网惯量不足、网架运维滞后、新型负荷扰动四大问题,共同制约电网供电可靠性提升。结合转型期电网实际运行痛点,构建源网荷储协同规划、技术创新、全流程运维管控、负荷柔性调控四位一体的可靠性提升方案,结合郑州配电网实际案例验证了方案可行性。

未来随着构网型技术、电网自愈技术持续迭代,以及电力市场机制不断完善,电网抗扰动能力将进一步提升。后续电网建设需坚持安全与低碳并行,持续深化源网荷储协同互动,全方位筑牢电网供电可靠性防线,平稳推进电力行业双碳转型。

[参考文献]

- [1]中华人民共和国国家发展和改革委员会.加快构建新型电力系统行动方案(2024—2027年)[Z].2024.
- [2]IEA.Powersystemsecurityconceptsandprinciples[R].2022.
- [3]郑州供电公司.自愈式新型配电系统建设实践[R].2025.
- [4]RichardBrown.电力系统可靠性分析[M].2025.
- [5]国家能源局.电力系统安全稳定导则[S].2023.
- [6]张建华,李刚.高比例新能源电力系统可靠性风险防控技术研究[J].电网技术,2024.

作者简介:

张玉龙(2003--),男,汉族,黑龙江牡丹江人,本科,助理工程师,研究方向为新型电力系统运行、电网供电可靠性优化。