

电力用户用电行为特征分析及电气事故防控策略

张诗琪

(国网重庆营销服务中心(计量中心), 重庆 400014)

摘要 电力用户用电行为特征与电气事故发生存在密切关联, 深入分析这种关联性对提升电力系统安全运行水平具有重要意义。电力用户负荷波动呈现明显的时间规律性与行业差异性, 高风险用电操作主要表现为计量装置私改与违规增容以及带电作业等典型模式。用户操作行为与电气参数变化之间存在明确的因果关联, 异常操作引发的电压骤降与电流跳变具有显著的时序特征, 事故发生机制表现为短路与过载以及接地故障的关联演化, 用电不当加速设备老化形成故障链条, 精准监测与行为引导以及多层防护相结合的策略体系能够有效降低事故发生概率。

关键词 电力用户用电行为; 电气事故; 风险识别; 安全防控; 负荷特性

中图分类号:F425

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.33.025

0 引言

电力系统安全稳定运行直接关系到国民经济发展与社会生活秩序, 电力用户用电行为作为影响系统安全的重要因素日益受到关注。随着智能电网建设深入推进, 用电信息采集技术快速发展, 海量用电数据为深入分析用户行为特征提供了技术支撑。当前电气事故中相当比例源于用户不当用电行为, 传统的事后处置模式已难以满足现代电力系统安全管理需求, 用户用电行为与电气事故之间的内在关联机制尚未得到充分揭示, 缺乏系统性的特征分析与防控策略研究, 亟需建立科学有效的风险识别与防控体系。

1 电力用户用电行为特征描摹

1.1 用电负荷波动的规律性与差异性

电力用户负荷波动呈现明显的时间规律性与行业差异性特征。工业用户负荷曲线表现出较强周期性, 峰值时段集中在工作日 8:00-18:00, 谷值出现在夜间及节假日, 居民用户呈现早晚双峰特征。不同行业间负荷特性存在显著差异, 钢铁与化工等连续性生产企业负荷率普遍维持在 0.7 以上; 机械制造等离散型制造业负荷率波动较大, 季节性因素对负荷波动产生重要影响, 夏冬两季负荷峰谷差可达 30%~50%^[1]。

1.2 高风险用电操作的典型模式

高风险用电操作表现为多种典型模式, 各具不同技术特征与危害程度, 私自改装计量装置操作包括互感器二次侧短路与计量回路断线等手段, 导致电能计

量失准并引发接地故障风险, 违规增容操作通过擅自增加大功率设备造成变压器长期过载运行, 绝缘材料加速老化。带电检修与违规接线操作在未断电情况下进行设备维护, 极易引发人身伤亡事故, 恶意攻击智能电表通信系统干扰正常电能计量功能, 这些操作模式具有隐蔽性强与安全隐患大的特点^[2]。

1.3 用电习惯对电气系统运行的影响

电力用户的用电习惯直接影响电气系统负荷分布与设备利用率及运行安全性。集中式用电习惯使变压器在特定时段承受高负荷运行, 设备温升加剧且绝缘老化速度加快, 频繁负荷投切操作对开关设备造成机械磨损, 缩短设备使用寿命。不规范用电时序安排导致电网功率因数偏低, 影响供电质量, 大功率设备启停产生的冲击电流引起电压波动, 对敏感设备造成干扰, 长期超负荷运行导致线路过热, 增加停电风险。合理用电习惯能有效平抑负荷峰谷差^[3]。

2 用电行为与系统响应特征分析

2.1 电流、电压变化与电力用户操作的关联

用户操作行为与电压参数变化之间存在明确的因果关联, 如图 1 所示, 异常操作在特定时段引发显著的电压骤降特征, 8:00-10:00 时段电压异常降幅达额定值的 11%, 14:00-16:00 时段也出现明显波动。私自改装计量装置导致二次回路阻抗突变, 引起电压信号失真; 大功率设备违规投入造成电压暂降, 降幅与设备容量成正比; 恶意断路器操作产生的电弧效应在电

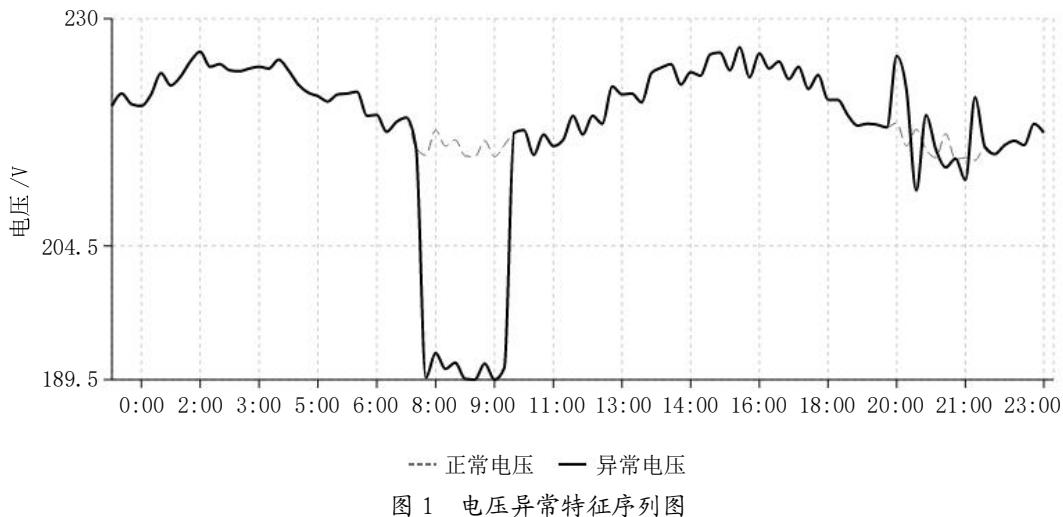


图1 电压异常特征序列图

压波形中形成特征性畸变。电压异常的幅度与持续时间以及恢复特性直接反映用户不当操作的严重程度,为建立操作行为识别模型与制定防控措施提供了重要的技术基础^[4]。

2.2 负荷波动与用电模式的互动

负荷波动和用电模式之间构建起复杂的双向互动机制,二者相互产生影响并且持续调整适应。用电模式的改变会直接驱动负荷曲线的形态出现变化,集中式用电模式会使负荷峰值急剧上升,分散式用电模式能让负荷分布趋向于平缓,负荷波动反过来会对电力用户用电策略的选择产生影响。持续的负荷高峰会促使用户调整设备运行的时序,从而避开用电拥挤的时段,工业企业在负荷高峰期会自动减少非核心设备的投入,把生产负荷转移到谷期去运行。负荷波动幅度和用电模式稳定性呈现反比的关系,模式变化频繁的用户负荷波动系数明显偏高,季节性用电模式的切换会引发负荷特性的周期性变化,夏季制冷模式下负荷峰谷差扩大到1.8倍,这种互动关系在智能用电环境下会表现得更加显著,实时电价信号强化了负荷响应的灵敏度。

2.3 行为习惯对设备运行状态的影响

电力用户长期以来的用电行为习惯会对电气设备运行状态产生累积性影响,这成为设备性能劣化的重要驱动因素。频繁进行大负荷投切的习惯会加速断路器触头磨损,电弧侵蚀会导致接触电阻增大并使设备温升异常,不规律地进行设备启停操作会增加变压器励磁涌流冲击次数,绕组绝缘承受反复电应力作用致使绝缘强度逐渐下降。长期保持超负荷运行的习惯会使导线载流量超出设计值,导体温度持续偏高会加快

绝缘层老化速度,不当开展功率因数管理的习惯会造成系统无功功率增加,导致设备视在功率容量利用率降低。违规进行操作的习惯会破坏保护装置整定配合关系,影响故障时的选择性跳闸功能,设备维护习惯缺失会导致绝缘监测数据出现异常,造成预防性维护措施滞后,这些行为习惯的累积效应最终体现为设备故障率上升和使用寿命缩短,形成电气事故的潜在隐患^[5]。

3 电气事故发生机制解析

3.1 短路、过载与接地故障的行为关联

用户不当操作行为是引发短路与过载及接地故障的直接诱因,三类故障之间存在密切演化关联,违规增加负荷容量导致线路电流超出额定值,过载状态下导体温升加剧,绝缘材料软化变形,最终击穿形成相间短路,私自改装计量装置破坏接地系统完整性,接地电阻异常增大,单相接地故障时中性点电位偏移,健全相电压升高至线电压水平。设备投切操作不当产生操作过电压,绝缘薄弱环节承受冲击电压作用发生击穿。短路故障产生的巨大短路电流造成设备机械应力超限,接地故障引发的零序电流对邻近设备产生电磁干扰,故障关联效应使单一操作失误引发连锁事故。

3.2 用电不当引发的设备老化与故障链条

用电不当行为通过加速设备老化过程形成完整故障链条,各环节相互促进最终导致系统性故障发生,长期过载运行使变压器油温持续偏高,绝缘油裂解产生有害气体,绕组绝缘强度下降,频繁启停操作加剧开关设备机械磨损,触头表面氧化层增厚,接触电阻增大引发局部过热。不合理负荷分配导致三相不平衡问题加剧,中性线电流异常增大使配电设备承受额外热应力。谐波污染源不当使用恶化电能质量,电力电

子设备承受谐波冲击致使元器件寿命缩短，设备老化后保护动作特性漂移，故障识别准确性降低，这种渐进式劣化过程具有隐蔽性强且影响范围广的特点。

3.3 环境因素与电力用户行为交互下的风险形成

环境因素与用户用电行为相互作用，形成复合型风险累积机制，显著增加电气事故发生概率。高温高湿环境降低电气设备绝缘性能，用户违规增容操作在此条件下极易引发绝缘击穿事故，雷电活动频繁期间，用户未按规程断开敏感设备电源，雷电感应过电压叠加正常工作电压造成设备损坏。污秽环境中绝缘子表面积污，用户疏于清洁维护导致污闪事故频发，强风天气下线路摆动幅度增大，用户违章搭建临时用线路增加短路风险。低温环境使电缆绝缘材料变脆，用户野蛮施工造成机械损伤，气象灾害与人为因素叠加效应下，单一环境扰动可能触发大面积停电事故。

4 电气事故防控策略

4.1 精准监测与数据驱动的风险管控

精准监测技术通过多维度数据采集实现风险的量化识别与预警管控。智能电表与传感器网络构建全覆盖监测体系，实时采集电压与电流以及功率因数等关键参数，监测精度达到 0.2 级标准。大数据分析平台运用机器学习算法处理海量用电数据，识别异常用电模式与潜在风险点。建立风险评估模型，根据历史数据与实时监测结果计算用户风险等级，高风险用户实施重点监控，异常检测算法能够在参数偏离正常范围 5% 时触发预警，提前发现设备故障征兆。数据驱动的决策支持系统为运维人员提供风险分析报告与处置建议，通过设备状态监测数据预测维护需求，实现从被动抢修向主动预防的转变，建立用户用电行为档案，为个性化风险管控提供数据支撑，显著提升事故预防的针对性与有效性。

4.2 用电行为引导与安全教育实践

用电行为引导依靠多元化教育手段与激励机制来促进用户形成安全用电习惯，建立分层分类安全教育体系，并针对工业与商业以及居民用户制定差异化教育内容，通过对实时用电数据进行监控与分析可动态调整发电计划，优化能源分配并减少浪费。定期组织安全用电培训重点讲解违规操作危害性与正确用电方法，结合具体地理位置与用户类型以及历史数据量身定制最适合的解决方案，推广安全用电技术标准以指导用户规范设备安装与维护操作。建立用电行为评价机制，对安全用电表现优秀用户给予电费优惠等激励措施，这种基于数据驱动的方法不仅提高了电力系统

整体效率，还增强了应对市场波动的能力。通过持续行为引导与教育实践逐步改善用户用电习惯，从源头减少事故发生风险。

4.3 多层防护体系下的事故预防与应对

多层防护体系构建技术防护与管理防护以及应急防护相结合的综合防控网络。技术防护层面部署智能保护装置与故障定位系统，实现毫秒级故障切除与精确故障定位。管理防护层面建立严格的安全作业标准与定期检查制度，强化人员操作规范性。应急防护层面制定完善的事故处置预案与快速响应机制，这些方法共同促进了电力行业的创新与发展，确保电力供应的安全可靠，体现了综合防护策略的重要作用。建立区域协调指挥中心，统筹调度应急资源与抢修力量。配置移动应急电源与备用设备，确保重要用户连续供电，通过综合分析与实时监控，可以更有效地预防潜在问题，保障电网的高效运作，这正是多层防护体系协同作用的核心理念。

5 结束语

电力用户用电行为特征分析为电气事故防控提供了新的技术路径与管理思路。负荷波动规律性识别、高风险操作模式归类以及行为习惯影响机制分析构成了完整的特征描摹体系，电气参数变化与用户操作的关联分析揭示了事故发生的技术机理，为建立预警模型奠定了基础。事故发生机制解析明确了故障演化规律与风险形成过程，精准监测与行为引导以及多层防护相结合的策略体系为电力系统安全防控提供了系统性解决方案，未来应进一步深化大数据分析技术应用，构建更加智能化的安全防控体系。

参考文献：

- [1] 孙胜博, 张凯, 冯剑, 等. 基于负荷特性分析的电力用户用电行为特征研究 [J]. 内蒙古电力技术, 2020, 38(01): 40-44.
- [2] 魏倩, 王晨星, 李珂明. 基于大数据分析的用电异常检测与防范机制 [J]. 家电维修, 2025(09): 137-139.
- [3] 罗建国, 陈琳, 林磊, 等. 基于用电客户群体细分的差异化用电行为特征分析 [J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(10): 68-72.
- [4] 郑真, 马晔晖, 黄一楠. 基于电力大数据挖掘的异常用电用户识别模型研究 [J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(05): 99-102, 154.
- [5] 黄悦华, 郭思涵, 鲍刚, 等. 基于用电特征分析的异常用电检测方法 [J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2021, 43(01): 96-101.