

电网调度运行监视画面动态着色规则 优化方法

胡阳

(国网陕西省电力有限公司汉中供电公司)

【摘要】文章为解决电网监视画面动态着色规则响应滞后与适应性不足问题,提出自适应阈值模型、拓扑关联着色策略及深度学习驱动的优先级机制,优化方法提升状态辨识效率与风险预警能力,降低调度负荷,为高比例新能源电网提供可靠可视化决策支持。

【关键词】电网调度系统;动态着色规则;可视化监视

中图分类号: TM73

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.138

Optimization Method of Dynamic Coloring Rules for Scheduling Operation Monitoring Screen of Power Grid

HU Yang

(State Grid Shaanxi Electric Power Co., Ltd., Hanzhong Power Supply Co., Ltd.)

【Abstract】In order to solve the problem of response lag and insufficient adaptability of dynamic coloring rules in the monitoring screen of the power grid, this paper puts forward an adaptive threshold model, a topological association coloring strategy and a priority mechanism driven by deep learning. The optimization method improves the efficiency of state identification and risk early warning ability, reduces the scheduling load, and provides reliable visual decision-making support for high-proportion new energy grids.

【Keywords】power grid scheduling system; dynamic coloring rules; visual monitoring

1 引言

随着电网升级改造推进与信息技术迭代,电网调度监控一体化显著提升电网运行效率,优化电网运行环境。电网调度运行监视画面动态着色技术,通过颜色编码实时映射设备运行状态,其着色规则依赖固定阈值设定;在新能源大规模并网与复杂故障场景下,该技术面临显著应用局限:静态规则难以适配电网运行状态的连续波动,多设备关联故障时着色逻辑存在割裂,削弱拓扑风险传递的可视化呈现,着色层级缺乏动态调整机制,关键异常信息易被次要告警信息淹没。亟需构建响应更灵敏、关联性更强、人机协同更高效的动态着色规则体系。

2 动态着色规则需求分析

电网调度运行监视画面的动态着色规则需满足三方面核心需求:功能层面需突破传统静态阈值局限,建立基于电网实时运行态势的自适应映射机制,准确映射新能源出力波动引发的电压连续变化、线路负载率瞬态越限等复杂工况,实现设备异常状态与拓扑风险的同步可视化。

性能层面需保障在秒级数据刷新频率下,着色计算引擎具备毫秒级响应效率,在电网故障快速演化过程中保持着色与实际故障范围的一致性^[1]。

人机交互层面需契合视觉认知规律,依托科学色彩编码体系降低调度员信息解析负荷;同时需通过着色逻辑强化设备间电气关联性,避免关键异常信息被次要告警淹没;此外,需保障极端工况下着色显示的稳定性,防止频繁闪烁造成视觉干扰。

因此,着色规则需具备动态适应性、计算高效性与人因友好性的综合能力。

3 动态着色规则优化方法

3.1 自适应阈值生成模型

定义电网设备运行风险量化函数:

$$R = P \times C \quad (1)$$

式(1)中: R 表示设备实时风险值, P 为状态异常概率因子,由历史工况数据与实时波动率联合计算,反映新能源出力不确定性的影响, C 为故障后果因子,基于设备在拓扑中的关键度如枢纽变电站权重高于普通馈线及负载率动态修正^[2]。自适应阈值 T_{dy}

按风险等级分段生成,低风险 $R \leq \alpha$ 阈值 $T_L = k_1 T_{base}$, T_{base} 为设备额定限值;中风险 $\alpha < R \leq \beta$ 阈值 $T_M = k_2 \cdot T_{base} - \Delta V_{predict}$, $\Delta V_{predict}$ 为电压波动预测值;高风险 $R > \beta$ 阈值 $T_H = \min(T_{base}, T_{real-time})$, $T_{real-time}$ 为基于相邻设备状态的紧急约束值。参数 α, β 通过在线学习机制更新, k_1, k_2 为安全裕度系数^[3]。低风险区间时采用基准阈值的宽松缩放,中风险区间引入电压波动预测补偿,高风险区间则直接取基准值与相邻设备紧急约束的最小值。风险值计算中异常概率因子融合新能源预测偏差率,故障后果因子依据设备拓扑关键度动态加权。

3.2 拓扑关联着色策略

拓扑关联着色建立厂站—线路—负荷三级协同着色机制。当厂站主变负载率达到阈值触发橙色预警时,着色引擎自动扫描其供电的 220kV 出线并同步着色;若配电负荷区出现电压越限,则启动逆向溯源流程,沿拓扑路径回溯至源头设备并强制标红,对拓扑传播深度最大的设备施加强视觉提示^[4]。

电气连接关系记录设备间供电路径,负荷分配关系映射电源点与负荷区的能量分配比例,保护配合关系保存断路器动作逻辑。当检测到主变负载率突破阈值时,立即激活下级线路着色任务,冲突消解模块实时评估各着色指令优先级,确保关键路径设备始终获得最高视觉权重。

3.3 优先级动态调整机制

深度学习架构采用双通道混合网络架构处理时空特征:时序通道通过长短期记忆网络解析设备量测值的演化趋势,捕获电压加速跌落、电流谐波畸变等瞬态特征;空间通道借助门控循环单元分析设备群关联模式,识别连锁过载的传播路径。双通道特征在融合层汇聚,通过注意力机制动态分配权重参数,当检测到异常时,自动提升其权重占比。

优先级评分模块输出三类控制指令:高分异常触发强视觉提示,包括置顶显示与脉冲闪烁;中分异常执行稳态橙色填充;低分异常转为浅灰弱化显示。训练过程采用故障场景强化训练策略,对新能源脱网、断面越限等关键样本施加权重惩罚;在线推理阶段建立滑动窗口更新机制,每五秒重新评估设备优先级,当检测到电压二阶导数突变或相邻设备群同步波动时,立即提升风险评分。部署阶段采用模型轻量化技术,确保在 30 毫秒内完成千节点电网的全局优先级更新。

4 案例验证

4.1 对象背景

验证对象选取华东地区某省级主干电网,其电网结构为 500kV 骨干网架与 220kV 区域配网混联,全网涵盖 48 座 500kV 变电站、217 回 220kV 联络线,新能源装机占比达 32%(其中风电 21%、光伏 11%)。

该电网的核心痛点是传统着色规则仅基于单设备阈值触发告警,难以有效识别以下场景:局部电压崩溃链场景,风电场集群脱网引发潮流转移时,下级主变过载与负荷节点电压失稳存在 15s~20s 的延迟关联;新能源波动误判场景,单次风速突变导致多个风电场同时触发告警,易淹没关键设备异常信号;拓扑风险遮蔽场景,厂站母线电压越限时,未同步标记其供电线路的过载风险。

4.2 实施流程

4.2.1 设备状态—颜色映射矩阵构建

定义 7 类核心运行状态与 12 级渐变色标尺,通过设备状态—颜色映射矩阵构建七类运行状态与十二级渐变色的严格对应关系,形成电网风险可视化核心逻辑。状态分类覆盖电压越限、负载率超标、频率波动、新能源出力异常、保护动作、拓扑解列及通信中断七类关键场景:电压越限类采用蓝色系渐进映射,浅蓝标识 $\pm 3\%$ 轻度偏移状态,深蓝警示 $\pm 8\%$ 严重越限状态;负载率超标类以黄色向红色渐变,浅黄表示 80% 预警负载率,暗红标识 120% 持续过载状态;新能源波动类采用半透明黄色至实心橙色过渡,透明度随预测偏差率增大而降低。

渐变逻辑遵循双重强化原则:纵向维度根据风险值提升增加饱和度,主变负载率每上升 5%,红色饱和度加深 10%;横向维度根据持续时间累积调整明度,电压越限持续超 10min 时,蓝色明度降低 20%。最高风险级(深红)需同时满足三项判定条件,即越限值超出阈值 30%、持续时间超 15min、关联设备触发连锁风险。状态转换增设缓冲机制,风险解除后设备保持原颜色等级 60s,待确认指标稳定回归正常范围后,方可切换为基准色。

4.2.2 拓扑着色引擎部署

关键功能实现包括主变—线路协同模块,当 500kV 主变负载率突破 85% 时,自动关联其供电的 3

回220kV线路,同步施加橙色边缘闪烁效果;负荷溯源模块在配电节点电压跌落至0.92pu时,逆向追踪至上级电源点,并强制标红路径中负载率>80%的设备;风电场群聚合着色模块,当同一汇集区域内5座及以上风电场出力波动超15%时,将其聚合标记为黄色预警区块。

4.2.3 预防性着色联动

接入风功率超短期预测系统(0~4h精度>90%),当预测未来30min风速骤降概率>65%时,提前将相关风电场出线的阈值收紧至TM档位,在调度界面将受影响的220kV馈线标记为半透明黄色;同时启动拓扑预演模式,模拟潮流转移路径并对高风险设备进行预着色。

4.3 结果分析

效率与准确性提升对比2023年第3和第4季度历史故障处置记录如表1所示。

表1 效率与准确性提升对比

指标	传统方法	新方法
平均故障定位时间	3.2min	45s
电压越限误报率	18.70%	10.80%
关键设备识别完整度	63.50%	92.10%

2024年1月9日14:23发生风速骤降事件,传统系统中27座风场同时告警,调度员耗时4分17秒才定位到500kV雁山变主变过载问题。新系统则表现为:风功率预测提前8分钟触发预防性着色(将雁山变下级线路标记为黄色);主变负载率突破 T_M 阈值时,拓扑引擎立即标红主变及3条220kV出线;深度学习模块检测到电压二阶导数异常后,置顶告警雁山变。最终从异常发生到完成风险定位仅耗时39s。调度员认知负荷优化效果采用NASA-TLX任务负荷指数测评,详见图1。

系统鲁棒性验证±10%负荷波动测试(见图2),阈值自适应模型响应延迟≤1.5s,千节点拓扑着色计算耗时稳定在2.1s~2.8s,优先级误调率(关键异常未置顶)<0.3%。

实施方案通过风险驱动的动态阈值解决新能源随机性引发的阈值僵化,拓扑穿透着色破解局部风险被全局告警淹没困局,智能优先级调度降低认知负荷并提升决策速度。实际运行数据证明,32%新能源渗透率场景下,系统将电压失稳风险识别窗口提前8min~12min,为调度员争取关键处置时间。

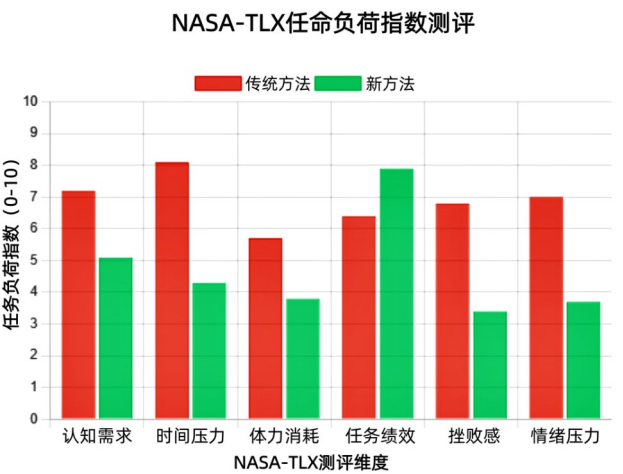


图1 调度员认知负荷优化分析

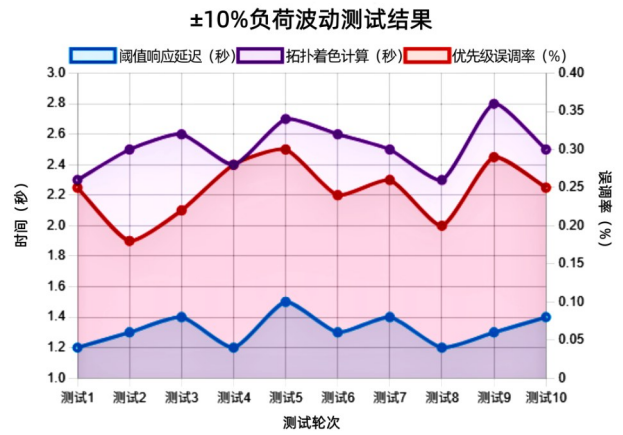


图2 系统鲁棒性验证

5 结语

本系统通过“动态阈值—拓扑穿透—智能预警”三层协同机制,解决新能源随机性引发的电压失稳识别困境,运行数据闭环验证显示,从离散设备监控转向系统级风险演化路径管控,为高比例新能源电网提供可量化、可复制的防控体系。

参考文献

[1] 曹荣辉, 张坤杰, 张耀. 电网调度控制系统中的智能技术[J]. 冶金管理, 2023 (21): 30-32.

[2] 郑涛, 邹乐. 电网调度故障追忆系统的设计与实现[J]. 电脑与电信, 2023 (7): 54-60.

[3] 吕志强, 孙超, 王艳蓉, 等. 基于Kubernetes的电网调度云应用容器管理系统的实现[J]. 工业控制计算机, 2022, 35 (12): 130-132+135.

[4] 彭自友, 钟苏帆, 潘大恩, 等. 地区智能电网调度控制系统研究[J]. 电气开关, 2021, 59 (6): 25-29+34.

[5] 邹鑫, 路建明, 李京, 等. 电网调度运行关键信息集中智能监视设计[J]. 湖南电力, 2017, 37 (4): 73-75.