

基于电网调度操作全过程的动态 N-1 风险评估技术分析

黄 洁

(国网湖南省电力有限公司 湘西供电分公司, 湖南 湘西 416000)

摘 要 为了使电网可靠、安全地运行, 调度员要使用合理的调度操作。目前是根据个人经验与实时运行数据操作电网, 调度操作指令从拟定到执行的操作流程完整, 保证了电力调度的安全性。文中所提出的方法主要是利用状态转移矩阵描述调度单项序列失败的概率技能, 通过对数合成的方法分析关联指标耦合程度。通过实际电网调度事件, 对该方法的有效性与可行性进行验证。文中所提出的风险评估方法能够为每一步操作关联风险指标, 使操作人员能够提前制定预防风险的措施。

关键词 电网调度 调度操作 风险评估 动态 N-1

中图分类号: TN99

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)05-0056-03

1 电网调度操作风险评估框架

调度操作全过程风险包括: 其一, 如果调度操作开关操作失败, 会导致电网风险的出现, 比如关联母线故障导致的母线欠压; 其二, 执行调度方案后, 系统 N-1 故障导致的运行风险; 其三, 执行调度方案之后长时间运行目标网络, 电网存在潮流越限、电压越限等风险。后两者为成功调度操作后的电网运行风险, 要共同考虑, 文中对风险评估过程中发生故障概率与损失进行考虑。基于 $\times \times$ 电网运行经验与技术需求, 设计调度操作过程中风险评估框架如图 1 所示^[1]。

故障分析还要对电网运行过程中及开关操作失败导致出现的 N-1 故障风险进行考虑, 具体为:

其一, 调度方案运行风险。在调度目标完成之后, 电网运行风险评估主要包括: 电网 N-1 故障后的运行风险, 要全面分析 N-1 故障的损失、概率和潮流; 电网是否出现设备重载、电压越限、潮流越限等风险。

其二, 刀闸与断路器操作失败的故障导致开关操作全过程风险, 在对调度方案开关操作序列执行的过程中, 如果操作出现故障就会导致电网出现风险, 所以要对每步操作的失败概率与关联母线故障进行分析, 以此定量评估操作失败导致的电网损失^[2]。对于指定的调度方案, 假如能够使开关操作序列顺利执行, 表示达成调度目标; 相反, 在任何开关操作出现关联母线故障或者拒动时, 工作人员将停止后续操作, 无法完成预定调度目标, 因为每步调度操作成功和后续执行相关。文中使用状态转移矩阵创建非记忆性状态序列模型, 并且对各操作故障场景中潮流分布、电网拓扑与故障损失进行分析, 之后, 通过故障损失与概率对开关操作流程风险进行计算。

其三, 为了对调度操作全过程风险进行综合考虑, 首先, 要对电网运行与开关操作导致的后果严重度指标进行统一,

文中将潮流越限、负荷损失、设备重载、电压越限等作为指标^[3]。

2 设备故障时变概率模型

暴露型设备故障模型。文中充分考虑天气原因导致暴露型设备故障, 首先, 通过历史统计数据实现暴露型设备时变故障模型的创建, 瞬时状态概率方程为:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda(t)P_0(t) + \mu(t)P_i(t) \\ \frac{dP_i(t)}{dt} = -\lambda(t)P_i(t) + \mu(t)P_0(t) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $P_i(t)$ 为 t 时间在 i 状态中的瞬时概率, $\mu(t)$ 为故障状态到运行转移速率函数, $\lambda(t)$ 为运行状态到故障转移速率函数^[4]。

表 1 为天气类型分类, 不同天气所对应设备出现故障停运次数比例公式:

$$W_i = \frac{T_i \lambda_i}{T \lambda_0} \quad (2)$$

W_i 为 i 天气状态下出现故障比例, T 与 λ_0 表示全部天气状态持续总时间和历史统计平均故障率, λ_i 与 T_i 表示 i 天气状态下平均故障率与持续时间。

已知设备故障率计算公式如式 (3) 所示:

$$\lambda(t) = \lambda_i = W_i \frac{T}{T_i} \lambda_0 \quad (3)$$

式中 i 为考虑时间天气情况时, 通过历史数据统计中得到 W_i 、 T 、 T_i 与 λ_0 。

3 算例分析

利用 IEEE-RTS 测试系统对文中方法进行验证, 分析电

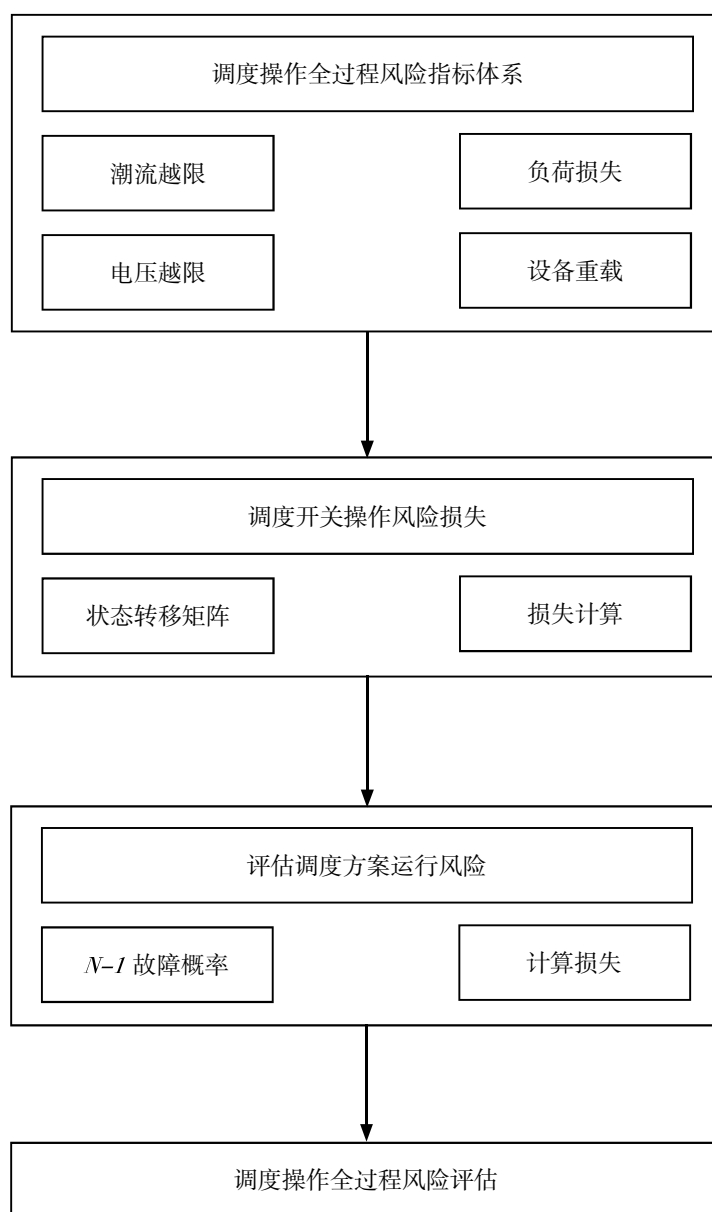


图 1 调度操作过程中风险评估框架

网历史数据，设置调度操作成功率与失败率分别为 0.98、0.02，表 2 为开关与刀闸故障导致失败操作几率，其中的 1~23 为各线路，24 为母线^[5]。

以综合调度为例，假如因为某原因线路要通过上述模型计算风险，得出风险指标为 27.56、14.36、1.35。以此表示具有较大的电压越限风险，所以要提请调度员在操作执行过程中实现电压预控措施的制定。

3.1 操作风险分析

因为线路侧刀闸的中断为不带电操作，并没有操作风险，操作风险为母线侧刀闸与开关操作。针对电压越限风险指标 RU 与支路过载风险指标 RO，表 2 中的 1、4 步风险比 2、5 步大。第 1 步开关爆炸和第 4 步刀闸瓷瓶断裂会使母线 15 失压，将与其相连接的设备切除。母线 15 失压切除设备比母线 24 要多，提高了对潮流的影响，所以存在

高风险。母线 15 和负荷连接，那么导致的母线失压会降低负荷。所以，整体调度中要注意第 1 步和第 4 步的风险，从而使系统能够稳定安全的运行^[6]。

3.2 操作风险来源

因为操作成功或失败后发展状态导致调度操作风险，对于线路 15~24 从运行到冷备操作，表 3 为操作风险来源。

通过表 3 可以看出来，潮流与电压越限风险为正常的操作状态，也就是正常操作之后系统的高风险，因为操作失败会导致出现负荷削减。

其实，操作失败与成功之后的发展状态，对于导致系统电压越限与支路过载比操作成功的指标大，但是发生概率比较小，所以总指标占比小。针对负荷削减风险指标，在失败操作极端情况中会导致母线失压，从而削减负荷，所以操作失败会出现负荷削减。

表1 天气类型分类

编号	天气类型
I	正常情况
II	大风天气
III	大雾天气
IX	冻雨天气
X	大雪天气
XI	暴雨冰雹

表2 开关与刀闸故障导致失败操作几率

设备	故障种类	发生概率
开关	开关爆炸	0.02
	机械故障拒动	0.63
	开关拒动闭锁	0.35
刀闸	刀闸瓷瓶断裂	0.01
	机械故障拒动	0.99

表3 操作风险来源

风险来源	RU	RO	RL
操作失败	2.02	0.85	1.22
操作成功	25.02	13.05	0
发展状态	0.52	0.41	0
总指标	27.52	14.32	1.25

3.3 开关操作风险

(1) 将母联开关合上, 如果此操作拒动, 将停止后续操作, 不会改变原本的电网结构; 如果此操作开关爆炸, 母线失压, 后续操作停止, 则全站失压。

(2) 断开电站开关, 导致拒动失败和开关爆炸, 拒动停止后续操作, 电站环网运行, 也就是第一个操作后的电网状态, 爆炸会导致电站全站失压。

实际调度操作会更加复杂, 为了避免电网合环运行, 撤销步骤1。为了使电网状态空间降低, 文中只是执行调度方案到目标的过程, 对调度单项序列失败导致的损失考虑, 忽视后续风险处理。基于实际电网风险的定级规则, 设置220kV 负荷损失指标重要程度为5, 设置110kV 负荷重要性程度为1。

4 结语

文中提出对调度操作全过程考虑的动态N-1风险评估技术框架, 分析开关操作和目标电网N-1故障导致的关联母线N-1风险。此风险评估技术被应用到实际供电局中, 提供稳定运行阶段与贯穿开关操作量化风险值, 能够使调

度员对最终调度方案作出选择。

参考文献:

- [1] 洪玉娟. 计及架空输电线路并沟线夹热过载风险的电网经济调度模型研究 [D]. 南京理工大学, 2019.
- [2] 汤奕, 孙大松, 周毅, 周良才. 含分布式电源的主配一体化电网日前-实时协调风险调度方法研究 [J]. 智慧电力, 2020, 48(08): 8-14, 23.
- [3] 黄承波. 基于智能电网调度技术支持系统的电网运行安全风险在线防控 [J]. 通讯世界, 2018(02): 226-227.
- [4] 罗艳, 陈子敬, 高浩, 栗景. 面向电网实时运行风险的快速定级方法研究及应用 [J]. 电力大数据, 2020, 23(05): 86-92.
- [5] 滕晓毕, 王健, 陆燕玉, 傅山. 基于TRACEr 失误辨识方法的电网调度人因风险认知分析 [J]. 微型电脑应用, 2020, 36(01): 41-44.
- [6] 王冠, 王胜男. 一种基于决策支持系统的智能化电网调度操作票系统研究 [J]. 东北电力技术, 2020, 41(04): 19-22.