

基于重要度排序与全寿命周期的配网故障治理措施优化方法

郭 刚,詹新明,侯立民,张社安,沈建良
(国网河北省电力有限公司邯郸供电分公司,河北 邯郸 056035)

摘 要:为优化配网故障治理措施,提升配网供电可靠性,针对配网故障治理措施优化问题,以故障、投诉、措施实施空间为约束条件,以综合效益优化为目标函数,基于 Prato 最优原则和 Well-being 模型,提出一种基于设备重要度排序和全寿命周期的配网优选设备的治理措施。基于 Well-being 模型的配网设备重要度排序综合考虑了环境的恶劣度、网络的复杂度和设备的重要度,与状态检修不同,基于大数据的重要度评价,评估输入的底层基础数据更丰富、评估结果更合理可靠。基于 Prato 最优原则,以设备全寿命周期内的综合经济性最优为目标,按照设备重要度排序进行差异化治理措施优选,治理措施更精准。基于上述方法,对某重过载配变及其所处的区域进行了治理措施优化,实际应用效果验证了该方法的有效性。

关键词:负载率;重过载;配电网;故障;最优化

文章编号:2096-4633(2019)05-0081-07 **中图分类号:**TM72 **文献标志码:**B

配电网作为电网向用户供电的最终环节,直接影响着电力用户的生产生活秩序。一方面,由于地域分散、运行环境恶劣、新旧设备混杂等因素导致配电网线路或设备故障频发,进而引发重复停电和用户投诉等问题,凸显了配电网优化运维、强化管理的必要。另一方面,配网运维检修数据量大、手工记录难度高,以及配电网数据资源管理基础相对薄弱等问题日渐突出,在“营配末端融合”的大背景下,急需完成配电网故障和投诉数据集成工作,为配电网故障治理措施决策优化提供可靠的数据支撑^[1-5]。

目前,配网治理频繁故障的措施主要包括三种:事故后的抢修、定期检修预试和状态检修。上述措施立足点是从设备到网络,以单个设备为重,未考虑设备的重要程度和网络结构。基于网络状态和设备重要性的由点到面的治理措施为配网故障和投诉治理决策提供了一种新的参考,这一思路需要配电网大数据对其进行支撑。

首先,需要宏观掌握配电网运行状态^[6-9]。基于配电网中的数据监测和采集系统收集表征网络运行状态的数据,包括电气量数据,如电压、电流、有功等,也包括非电气量数据,如局部区域运行环境温度、湿度、风力等。然后,定义设备在网络中的重要度并排序。设备重要度应综合考虑设备本身的健康

度、运行环境的恶劣度,以及网络中节点设备的重要度。基于电气量和非电气量的大数据分析,计算设备的重要度并进行排序。最后,以故障、投诉、措施实施空间为约束条件,以综合效益优化为目标函数,基于 Prato 最优原则^[10-12],优选设备的治理措施。与状态检修不同,基于大数据的设备重要度评价和差异化治理措施,更全面、评估输入的底层基础数据更丰富、评估结果更合理可靠。

1 数学模型

1.1 基于 Well-being 分析的重要度排序

well-being 模型^[13]见图 1,系统依据确定性准则(N-1)分为 3 种状态:安全状态;警戒状态;紧急状态。

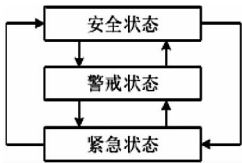


图 1 Well-being 模型
Fig. 1 Well-being model

鉴于设备在配网拓扑中的位置和作用不同,使得其发生故障时对配网安全运行的影响会有差别,因此本选题建立基于well-being分析的故障追踪方

法来完成对配网设备重要度的实用化评估、排序,进而基于此提出更趋合理的故障治理措施优选方案。

模型将配网正常运行状态细分为安全状态和警戒状态。其中警戒状态下配网虽能正常运

行,但处于安全裕度小、运行方式亚健康的状态,其指标描述了配网在该种状态下的表现和特性,相较传统风险模型提供了额外的系统信息。如表 1 所示,配网故障治理措施数据包含的数据信息。

表 1 配网故障治理数据分类

Tab. 1 Distribution network fault management data classification

数据类别	数据对象	数据类容	数据内容	数据库来源	数据类别
基础数据	一、二次设备 配电网络结构	出厂信息	投运年限、厂家等	PMS2.0 系统	结构化数据
		安装信息	安装位置、施工方等	PMS2.0 系统	结构化数据
		网络拓扑信息	配网运行方式、联络率等	GIS 系统	结构化数据
		历史运行数据	技改大修记录、故障记录等	PMS2.0 系统	结构化数据
		检修记录信息	状态检修记录	PMS2.0 系统	结构化数据
运行数据	一、二次设备 配电网络结构	试验测试信息	绝缘试验、耐压试验、局放试验数据等	PMS2.0 系统	结构化数据
		典型缺陷信息	隐患排查及消缺记录	PMS2.0 系统	结构化数据
		故障停电信息	停电时间、停电时长、故障原因	配网供电服务指挥系统	结构化数据
环境数据	一、二次设备 配电网络结构	投诉信息	投诉内容	投诉工单处理系统	非结构化数据
		运行环境信息	温湿度、烟感、水浸等	运行环境监测系统	非结构化数据
		天气信息	气温、雨量、风力、雷电等	气象信息系统	结构化数据
经济数据	配电区域	用电信息	电压、电流、电量等	用电信息采集系统	结构化数据

定义 λ_n 、 λ_a 、 λ_m 分别为在正常天气、恶劣天气、极端天气下设备元件的年故障率(次/a),它们可以根据以下公式计算:

$$\lambda_n = \lambda_{avg}(1 - F_b)/P_n \quad (1)$$

$$\lambda_a = \lambda_{avg}F_b(1 - F_m)/P_a \quad (2)$$

$$\lambda_m = \lambda_{avg}F_bF_m/P_m \quad (3)$$

式中: λ_{avg} 是基于历史数据统计的元件年平均故障率; P_n 、 P_a 、 P_m 分别为基于历史统计数据的正常天气、恶劣天气以及极端天气出现的稳态概率; F_b 是故障发生在坏天气(恶劣,极端)情况下的比例; F_m 是坏天气情况中属于极端天气的比例。

当所考虑的元件仅运行于“正常”或“停运”2 种运行状态时,在所考虑的预测时间段 t 内,元件受天气影响发生停运事件的次数近似服从泊松分布,因此, t_0 时刻处于正常运行的元件,在 $t_0 + \Delta t$ 时刻发生停运的概率可以近似表达为

$$P_i = 1 - e^{-\lambda_i \Delta t} \quad (4)$$

式中: λ_i 为通过短期天气预报和式(1)(2)(3)得到的元件年故障率; t 可根据现场实际数据的更

新时间间隔或实际需要进行选取,如 15min 或 1h。因此,在 $t_0 + \Delta t$ 时刻某一事故发生的概率可以用下式计算:

$$P(E) = \prod_{i \in D} p_i \cdot \prod_{j \in U} (1 - p_j) \quad (5)$$

式中: E 事故下的系统状态; D 、 U 分别为故障元件集合和正常元件集合。

在 well-being 分析的框架下,对所选取的某一故障的状态 k 进行分析,确定该状态的类别(安全、警戒或紧急),剔除安全状态并根据系统状态的类别,计算该状态下的紧急指数 I_{ES}^k 或警戒指数 I_{AS}^k 。

$$\begin{cases} I_{ES}^k = \prod_{i \in D} p_i \cdot \prod_{j \in U} (1 - p_j), k \in S_E \\ I_{AS}^k = \prod_{i \in D} p_i \cdot \prod_{j \in U} (1 - p_j), k \in S_A \end{cases} \quad (6)$$

式中: I_{ES}^k 和 I_{AS}^k 分别代表该系统状态 k 下的紧急指数和警戒指数; S_E 、 S_A 分别为故障集中紧急状态集合和警戒状态集合。

利用事故概率模型,该状态下的指标分配给各个故障元件。

$$\left\{\begin{aligned} I_{ES}^{ki} &= \frac{p_i}{\sum_{j \in D} p_j} I_{ES}^k, k \in S_E \\ I_{AS}^{ki} &= \frac{p_i}{\sum_{j \in D} p_j} I_{AS}^k, k \in S_A \end{aligned}\right. \quad (7)$$

式中: I_{ES}^{ki} 、 I_{AS}^{ki} 分别为该系统状态下元件*i*的紧急指数贡献值和警戒指数贡献值;*D*为该故障状态下故障元件集合。

如此依次遍历故障集的所有故障,累加可得到系统 well-being 风险指标和元件重要度指标。

$$\left\{\begin{aligned} I_{ES}^i &= \sum_{k \in S_E} I_{ES}^{ki} \\ I_{AS}^i &= \sum_{k \in S_A} I_{AS}^{ki} \end{aligned}\right. \quad (8)$$

式中 I_{ES}^i 和 I_{AS}^i 为通过追踪系统风险到故障元件后,系统元件*i*的紧急指数贡献值和警戒指数贡献值。

式(9)定义基于 well-being 的元件重要度指标如下:

$$\left\{\begin{aligned} I_{ES}^i &= I_{ES}^i / I_{ES} \times 100\% \\ I_{AS}^i &= I_{AS}^i / I_{AS} \times 100\% \end{aligned}\right. \quad (9)$$

式中, I_{ES} 、 I_{AS} 分别为系统的总紧急指数和总警戒指数。 I_{ES}^i 是元件*i*的紧急重要度指标(emergency importance indicator, E_{II}),对应设备的紧急状态,代表元件对系统紧急指数的贡献大小。 I_{AS}^i 是元件*i*的警戒重要度指标(alert importance indicator, A_{II}),对应设备的警戒状态,代表元件对系统总警戒指数的贡献大小。

在基于 well-being 分析的风险追踪方法的基础上,量化设备重要度,实现设备重要度的评估与排序,遴选电网的薄弱环节。具体流程如下。

(1)根据气象预报信息,利用三状态天气模型计算设备考虑天气因素的实时故障概率。

(2)使用枚举法选择系统状态,枚举至3阶故障,形成预想故障事件,并计算故障事件发生的概率。

(3)对选取的状态进行分析,是否满足充裕性。如需切负荷,则进入紧急状态,进入步骤(5);

(4)如不需切负荷,则为警戒状态或健康状态,返回步骤(2),否则为警戒状态,进入步骤(5)。

(5)计算紧急指数或警戒指数,利用上述模型

计算该状态下各个故障元件的贡献值。

(6)返回步骤(2),直到遍历预想故障集的所有故障事件。

(7)计算总紧急指数和总警戒指数,并计算元件紧急重要度指标和警戒重要度指标,根据重要度指标排序,确定需治理设备。

1.2 基于 Prato 最优的故障治理措施优选

在对需治理设备排序的基础上,以综合效益最优为目标,优选治理措施^[14-17]。

治理措施可分为三大类,即运维管理措施、建设改造措施和配电自动化措施,如表2所示。

表2 故障治理措施集合
Tab.2 Fault governance measures

类别	编号	措施内容
运维管理措施	X1	加强日常巡视,预防外力破坏
	X2	加强故障定位技术水平
	X3	按标准时间隔离、修复
	X4	加强带电接火作业技术水平
	X5	加强局放检测
	X6	加强红外检测
	X7	加强绝缘电阻测试
	X8	加强耐压试验检测
	X9	加强接地电阻测试
	X10	加强直阻测试
	X11	加强施工停电项目整合管理
建设改造措施	X12	残旧设备更换
	X13	架空裸导线绝缘化改造
	X14	架空线路电缆化改造
	X15	架空线路增设分段开关
	X16	加强设备抵御自然灾害措施
	X17	增设联络转供线路
	X18	电缆线路闭环运行改造
	X19	接入分布式备供电源
	X20	电缆线路增设专用备供线路
	X21	配电自动化信息采集服务器建设
配 电 自动化措施	X22	配电自动化通信通道建设
	X23	增设基本型二遥终端
	X24	增设标准型二遥终端
	X25	增设三遥终端

第一类包括:设备巡视、红外测温等11项。第二类包括:低压切改、配变增容等9项。第三类包括:配电自动化信息采集服务器建设等5项。所提治理措施集合的数学表达式如下:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \cdots\} \quad (10)$$

以配网故障治理治理决策综合经济性最优为目标建立措施优选模型。目标函数由各项治理措施的投资成本与供电公司所需承担的停电损失成本构成。各类设备的故障治理指标要求作为约束条件被计入模型之中,此外,约束条件中还包括各类治理措施的可实施空间约束。模型的数学表达式如下:

$$\begin{cases} \min_{X \in X} \max F(X) = F_{\text{inve}} + F_{\text{loss}} \\ \text{s. t. } \lambda_j^{\min} \leq \lambda_j \leq \lambda_j^{\max} \\ X_j^{\min} \leq X_j \leq X_j^{\max} \end{cases} \quad (11)$$

$F(X)$ 为各类措施的综合费用, F_{inve} 、 F_{loss} 分别表示折算到各年度的投资成本和停电损失费用。 λ_j 为第 j 台设备的故障治理指标; $\lambda_j^{\min}$ 、 $\lambda_j^{\max}$ 为 λ_j 的上、下限。 X_j 为第 j 台故障治理治理措施的可实施空间; $X_j^{\min}$ 、 $X_j^{\max}$ 为 X_j 的上、下限。

模型中 F_{inve} 和 F_{loss} 分别包括高压设备和低压设备两部分。

1.2.1 针对高压设备

投资成本 F_{inve}^T 计算公式如下:

$$F_{\text{inve}}^T = F_{\text{init}}^T + F_{\text{prev}}^T \quad (12)$$

其中, $F_{\text{init}}^T = K_d^T Z_T$ 为高压设备初始投资成本, $F_{\text{prev}}^T = K_v^T Z_T$ 为高压设备运维费用; Z_T 为单台高压设备的投资造价, 满足 $Z_T = a_1 + b_1 n S_T$, 其中, a_1 、 b_1 为拟合常数, n 为高压设备台数, S_T 为高压设备容量; K_d^T 为年投资费用折算系数, K_v^T 高压设备年维修率。

损失成本 F_{loss}^T 计算公式如下:

$$F_{\text{loss}}^T = F_{\text{inte}}^T + F_{\text{wear}}^T \quad (13)$$

其中, $F_{\text{wear}}^T = n[P_0 t + P_k \tau_{\max} \lambda^2] \beta_1$ 为高压设备损耗费用, P_0 为高压设备的空载损耗, 满足 $P_0 = a_0 + b_0 S_T$, a_0 、 b_0 为拟合常数; $F_{\text{inte}}^T = p_j n[S_{\mu} f - (n - 1) S_T] \kappa T_j \beta_2$ 为停电损失费用; P_k 为高压设备的短路损耗, 满足 $P_k = a_k + b_k S_T$, a_k 、 b_k 为拟合常数, T_j 负荷利用小时数。

针对高压设备故障损失费用 F_{inte}^T , 计算如下:

$$T_j = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (14)$$

式中, $E_1 = \gamma_j t_1$ 为节点 j 处的停电时间, γ_j 为故

$$\begin{aligned} \max_{X \in X} F(X) &= F_{\text{inve}} + F_{\text{loss}} = F_{\text{inve}}^T + F_{\text{loss}}^T + F_{\text{inve}}^L + F_{\text{loss}}^L = F_{\text{init}}^T + F_{\text{prev}}^T + F_{\text{inte}}^T + F_{\text{wear}}^T + F_{\text{init}}^L + F_{\text{prev}}^L + F_{\text{loss}}^L \\ &= (K_d^T + K_v^T)(a_1 + b_1 n S_T) + \lambda S_T \kappa T_j \beta_2 + [(a_0 + b_0 S_T)(8760 - T) + (a_k + b_k S_T) \tau_{\max} \lambda^2] \beta_1 \\ &\quad + (K_d^L + K_v^L) D_L r [a_2 (S_T \kappa / P_L) + b_2 (S_T / (\sqrt{3} U_N J))] + \left(\frac{0.924 D_L \rho J \lambda^{5/2}}{U_N \kappa^2 / \sqrt{\pi \sigma}} S_T^{3/2} \right) \tau_{\max} \beta_1 \end{aligned} \quad (19)$$

式中, F_{init}^T 、 F_{prev}^T 、 F_{inte}^T 、 F_{wear}^T 分别为高压设备的初始投资成本、运维成本、设备损耗和停电损失费

障概率, t_1 为故障修复时间; $E_2 = \gamma_j (N_{pj} / N_{nj} - 1) (1 - p_j) t_2$ 为节点 j 处其他高压设备停电的影响导致的该台设备的停电时间, N_{pj} 为台数, N_{nj} 为馈线节点数, t_2 为故障查找时间 + 故障修复时间, p_j 为熔断器隔离故障的准确率; $E_3 = \gamma_j (j - 1 / N_{nj}) N_{pi} (1 - p_j) t_3$ 表示电源端至节点 j 处设备的影响导致的该台设备的停电时间, t_3 区段内/外故障查找时间 + 故障修复时间; $E_4 = \gamma_j (1 - j / N_{nj}) N_{pi} (1 - p_j) t_1$ 表示节点 j 处至联络开关间导致的该设备的停电时间。对仅考虑引起 10 kV 开关故障本节点设备停电的情况时, 有 $t_1 = t_2 = t_3$ 为故障查找定位及故障修复的时间和。则, $T_j = \gamma_j [1 + (1 - p_j) (N_{pj} - 1)] t_1$, β_2 为产电比, 进而简化得:

$$F_{\text{inte}}^T = p_j \lambda S_T \kappa T_j \beta_2 \quad (15)$$

1.2.2 针对低压设备

投资成本 F_{inve}^L 计算公式如下:

$$F_{\text{inve}}^L = F_{\text{init}}^L + F_{\text{prev}}^L \quad (16)$$

其中, $F_{\text{init}}^L = K_d^L Z_L$ 为初始成本, $F_{\text{prev}}^L = K_v^L Z_L$ 为线路运维费用; $Z_L = L \cdot z_L$ 为单台高压设备的投资造价, $L = D_L \cdot r$ 为线路长度, $z_L = a_2 + b_2 A_L$ 为单位长度线路造价, $r = \sqrt{\lambda S_T / \sigma \pi}$ 为供电半径, a_2 、 b_2 为拟合常数, D_L 为地形系数; $A_L = S_T / (\sqrt{3} U_N J)$ 为供电面积; K_d^L 为线路年投资费用折算系数, K_v^L 线路年维修率。

损失成本 F_{loss}^L 计算公式如下:

$$F_{\text{loss}}^L = F_{\text{wear}}^L \quad (17)$$

其中, $F_{\text{wear}}^L = P_L \tau_{\max} \beta_1$ 为线路损耗; $\tau_{\max}$ 为最大负荷损失小时数, β_1 为综合电价, P_L 为线路年供电量满足:

$$P_L = \frac{8 \pi^2 \sigma^2 D \rho r^5}{15 U_N^2 A_L \kappa^2} = \frac{0.924 D \rho J \lambda^{5/2} S_T^{3/2}}{U_N \kappa^2 / \sqrt{\pi \sigma}} \quad (18)$$

式中, ρ 为导线电阻率, J 为导线电流密度, U_N 为线路额定电压, λ 为负载率, κ 为功率因素。

综上, 计算可得高低压设备总成本费用为:

用; F_{init}^L 、 F_{prev}^L 、 F_{loss}^L 分别为低压设备的初始投资成本、运维成本和线路损耗; 其他参数同上。

1.3 模型求解算法

将综合成本对设备的单位容量求导,并令 $dF/dS_T = 0$,得出最优容量 S_{TBEST} 、最优供电半径

$$K = (A_T + \kappa T \beta_2 \lambda + b_k \tau_{\max} \beta_1 \lambda^2)^2 \pi / (B_T + C_T \lambda^2)^2$$

(21)

$$R_T = (A_T + \kappa T \beta_2 \lambda + b_k \tau_{\max} \beta_1 \lambda^2) / (B_T + C_T \lambda^2)$$

(22)

$$N_T = \frac{A}{\pi \cdot R_T^2}$$

(23)

以最优供电半径 R_T 和最优配变台数 N_T 确定措施优选判据,其中原供电半径为 r 、原配变台数为 n 。本选题所建立的故障治理治理措施优选模型属于非线性整数规划模型,目前,对此类模型的求解方法主要可分为数学规划算法与启发式算法2类。数学规划算法先通过单纯形法或梯度类算法求得非线性规划问题的松弛解,再通过分支定界法、割平面法等方法处理模型中的整数约束。此类算法可调用LINGO、GEMS等成熟的商业优化软件计算,求解质量较高。本选题采用单纯形法求解非线性规划问题,而后通过割平面法处理模型中的相关约束条件,采用LINGO软件进行求解。

2 分析示例

以界河店村杜刘固分支4号柱上变压器为例说明故障治理治理的工程化实施方法。该村为中心村镇,供电面积 0.96 km^2 ;区域内配变台数3台,其中,杜刘固分支4号柱上变压器设备重要度排序第一。图2所示为台区接线图,其年度负荷曲线如图3所示。

根据设备台账和运行数据,相关计算数据如下: $J=1.15\text{ A/mm}^2$, $a_1=10\text{ 万元}$, $b_1=212\text{ 元/kVA}$,

R_T 、最优设备台数 N_T 为:

$$S_{TBEST} = K \frac{\sigma}{\lambda}$$

(20)

$a_2=2\ 000\text{ 元/km}$, $b_2=80\text{ 元}/(\text{km} \cdot \text{mm}^2)$, $K_d^T=K_d^L=0.1$, $\tau_{\max}=2\ 000\text{ h}$, $\beta_1=0.6\text{ 元}$, $A_T=57.034\ 4$, $B_T=0.979$, $C_T=1.224$, $P_0=0.48\text{ kW}$, $P_k=4.5\text{ kW}$, $\gamma_j=0.017$, $t_1=2\text{ h}$, $p_j=0.8$, $\sigma=0.8$, $\beta_2=6.4\text{ 元}$, $D_L=1.3$, $U_N=10\text{ kV}$ 。

区域内3台配变的PMS台账,如表7所示。

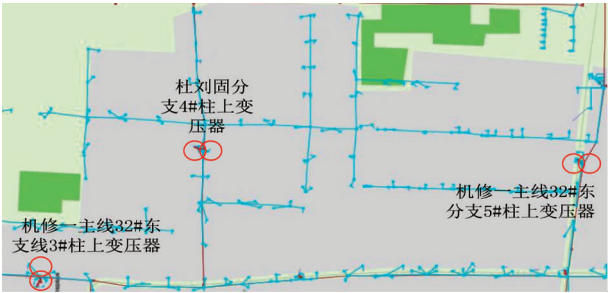


图2 区域内接线图

Fig.2 Area wiring diagram

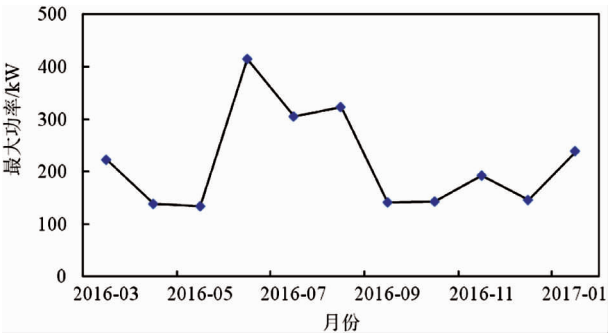


图3 年度负荷曲线

Fig.3 Annual load curve

表7 配变PMS台账主要数据

Tab.7 Main data of distribution PMS account

设备名称	型号	额定容量/kVA	短路损耗/W	空载损耗/W
杜刘固分支4号柱上变压器	S11	400	4 520	480
机修—主线32号东分支5号柱上变压器	SBH15	400	4 520	200
机修—主线32号东支线3号柱上变压器	SBH15	400	4 520	200

计算得,最优供电半径为 $R_T=436.92\text{ m}$,最优配变台数 $N_T=3$ 台,由原供电半径为 $r=567.63\text{ m}$ 、原配变台数为 $n=3$,结合表8给出的各治理措施投

资估算价,采用LINGO进行求解,优选出措施2为最优措施,即将最优供电区域外的负荷切改至其他轻载配变。

表 8 台区治理措施投资造价

Tab. 8 Investment costs of the governance measures in the Taiwan area

项目	成本	定额	数量	估算价
低压切改	$F(X_2)$	1 331 元/100 m	4 km	5.324 万元
配变增容	$F(X_3)$	5.693 万元/台	1 台	5.293 万元
新增台区	$F(X_4)$	10.397 万元/处	1 处	10.397 万元
区域外线损	$F_{\text{loss}, i \in \Gamma_2}$	0.247 3 万元/年	10 年	2.473 万元

优化各故障治理措施后,以综合效益最大为目标进而确定治理流程,过程中各改造项目的效益/成本比在图 9 中给出。

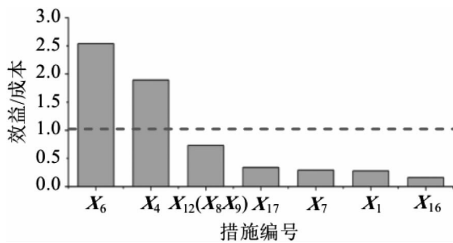


图 9 故障治理措施的效益/成本比

Fig. 9 Benefit/cost ratio of fault management measures

3 结论

本选题基于 Well-bing 模型,提出配电网设备重要度的评价与排序方法,进而基于 LCC 理论和 Prato 最优提出故障治理治理措施优选方法。所提方法在高投诉台区的治理案例中得到应用,基于电气量和非电气量大数据分析对设备的重要度进行评价排序和全寿命周期管理,能够完整、量化地对配网故障治理措施进行综合优选。通过数据研究发现,设备重要度不同对设备故障的影响也不同,相关数据可以作为配电网故障治理治理措施优选的数据支撑,进而,可对配电网故障治理治理措施优选做出科学决策。

参考文献:

[1] 苏韵掣,刘俊勇,刘友波,等. 大规模中压配电网可靠性建设改造措施优选模型及求解方法[J]. 电网技术,2017,41(01): 201-209.

SU Yunche,LIU Junyong,LIU Youbo,et al. Optimization model of selecting power supply reliability reconstruction measures in large-Scale MV distribution network and its solution method[J]. Power System Technology,2017,41(01):201-209.

[2] 杨凤生,熊波,蔡广林,等. 基于数据分析的配电网故障数据

特征变量提取[J]. 电力大数据,2017,21(03):22-27.

YANG Fengsheng,XIONG Bo,CAI Guanglin,et al. Characteristic extracting of the fault information in distribution feeder based on data analysis[J]. Power Systems and Big Data,2017,21(03):22-27.

[3] 韩笑,狄方春,刘广一,等. 应用智能电网统一数据模型的大数据应用架构及其实践[J]. 电网技术,2016,40(10):3206-3212.

HAN Xiao,DI Fangchun,LIU Guangyi,et al. A big data application structure based on smart grid data model and its practice[J]. Power System Technology,2016,40(10):3206-3212.

[4] 贺建章,王海波,季知祥,等. 面向智能电网的配网变压器重过载影响因素分析[J]. 电网技术,2017,41(01):279-284.

HE Jianzhang,WANG Haibo,JI Zhixiang,et al. Analysis of factors affecting distribution transformer overload in smart grid[J]. Power System Technology,2017,41(01):279-284.

[5] 吴润泽,张保健,唐良瑞. 双网耦合模型中基于级联失效的节点重要度评估[J]. 电网技术,2015,39(04):1053-1058.

WU Runze,ZHANG Baojian,TANG Liangrui. A cascading failure based nodal importance evaluation method applied in dual Network coupling model[J]. Power System Technology,2015,39(04):1053-1058.

[6] 胡丽娟,刁赢龙,刘科研,等. 基于大数据技术的配电网运行可靠性分析[J]. 电网技术,2017,41(01):265-271.

HU Lijuan,DIAO Yinglong,LIU Keyan,et al. Operational reliability analysis of distribution network based on big data technology[J]. Power System Technology,2017,41(01):265-271.

[7] MING LI,QIN ZHOU. Distribution transformer midterm heavy and over load pre-warning based on logistic regression[C]//2015 IEEE Eindhoven PowerTech. Eindhoven,Netherlands:IEEE,2015:1-6.

[8] 何治安,廖宇峰,王荣威,等. 基于 LCC 的重过载小容量配变改造策略[J]. 机电工程技术,2016,45(05):53-57.

HE Zhian,LIAO Yufeng,WANG Rongwei,et al. Reform strategy of heavy and overload transformer of small capacity based on LCC[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology,2016,45(05):53-57.

- [9] 赵庆周,李勇,田世明,等. 基于智能配电网大数据分析的状态监测与故障处理方法[J]. 电网技术,2016,40(03):774-780.
- ZHAO Qingzhou, LI Yong, TIAN Shiming, et al. A State estimation and fault processing method based on big data analysis of smart distribution network[J]. Power System Technology, 2016, 40(03):774-780.
- [10] 张友强,寇凌峰,盛万兴,等. 配电变压器运行状态评估的大数据分析方法[J]. 电网技术,2016,40(03):768-773.
- ZHANG Youqiang, KOU Lingfeng, SHENG Wanxing, et al. Urban big data analytical method for operating state assessment of distribution transformer[J]. Power System Technology, 2016, 40(03):768-773.
- [11] 张恒,王建学,曹晓宇. 采用全寿命周期成本与风险分析的农村配电变压器更换投资策略[J]. 西安交通大学学报, 2015,49(08):133-140.
- ZHANG Heng, WANG Jianxue, CAO Xiaoyu. Replacement and investment strategy for distribution transformers in rural area based on life cycle cost theory and risk assessment[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2015, 49(08):133-140.
- [12] 杨楠,李宏圣,袁景颜,等. 计及不确定性和全寿命周期成本的配电变压器规划方法[J]. 电力系统自动化,2017,41(21):94-104.

YANG Nan, LI Hongsheng, YUAN Jingyan, et al. Planning method of distribution transformer considering uncertainty and life cycle cost[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(21):94-104.

- [13] JAN BEYEA. The smart electricity grid and scientific research[J]. Science, 2016, 328(5981):979-980.
- [14] KIUHUAHUANG, MIKE ZHOU, YAO ZHANG, et al. Exploiting cloud computing for power system analysis[C]// International Conference on Power System Technology. Guangzhou: 2016: 1-6.
- [15] ARMANDO FOX. Cloud computing—What's in it for me as a scientist[J]. Science, 2016, 331(6016):406-407.
- [16] JAYANT BALIGA, ROBERT W. A. AYRE, RODNEY S. TUCKER, et al. Green cloud computing: balancing energy in processing, storage, and transport[J]. Proceeding of the IEEE, 2016, 99(01):149-167.

收稿日期:2018-12-09

作者简介:



郭刚(1986),男,硕士,工程师,主要从事配电网运行与检修相关工作。

(本文责任编辑:施玉)

Optimal planning of distribution transformer overload control measures based on the order of importance and life cycle cost theory

GUO Gang, ZHAN Xinming, HOU Linmin, ZHANG Shean, SHEN Jianliang

(State Grid Hebei Electric Power Corporation Handan Power Supply Branch, Handan 056035 Hebei, China)

Abstract: In order to optimize the network fault management measures, improve the reliability of distribution network power supply, optimize the problem of distribution network fault management measures, take the fault, complaint, and measure implementation space as the constraint conditions, and comprehensive benefit optimization as the objective function, based on the Prato optimal principle and The Well-bing model proposes a governance measure for distribution network optimization equipment based on equipment importance ranking and life cycle. Based on the Well-bing model, the ranking of the importance of the distribution network equipment takes into account the harshness of the environment, the complexity of the network and the importance of the equipment. Unlike the state maintenance, the evaluation of the importance of the equipment based on big data evaluates the underlying basic data of the input. More abundant, the evaluation results are more reasonable and reliable. Based on Prato's optimal principle, aiming at the comprehensive economical optimality in the whole life cycle of equipment, the differentiated control measures are optimized according to the order of equipment importance, and the control measures are more precise. Based on the above method, the control measures of a heavy overload distribution and its area are optimized. The practical application results verify the effectiveness of the method.

Key words: load rate; heavy overload; distribution network; fault; optimization