

基于 G1 赋权法的配电网带电作业安全综合评估

杨慎涛, 陈劲松, 袁 林

(国网成都供电公司, 四川 成都 610041)

摘要: 随着城市配电网可靠性要求越来越高, 全国各大城市配电网带电作业急速扩张, 其作业的安全综合评估显得十分重要。配电网带电作业的安全受到城市电配电网实际运行环境、安全生产制度以及作业人员综合素质等多方面因素的影响, 使其呈现出分层分级的非线性综合评价的特征。为此, 提出采用一种无需进行一致性检验的 G1 赋权法进行综合评估的思路。首先, 通过深入分析带电作业特点, 建立起配电网带电作业安全综合评价指标体系; 然后, 利用 G1 赋权法确定各指标因素的各自权重, 计算得到综合评价结果; 最后, 通过对某实际带电作业现场的安全性进行评估验证, 说明所提方法的合理性与有效性, 可为带电作业现场安全管理提供参考。

关键词: G1 赋权法; 带电作业; 安全综合评估

中图分类号: TM755 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2020)02-0091-04

DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.02.020

Comprehensive Evaluation for Live Working Safety in Distribution Network Based on G1 Weighting Method

Yang Shentao, Chen Jinsong, Yuan Lin

(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: As the reliability requirements of urban distribution network are getting higher and higher, the live working of distribution network in major cities across the country is rapidly expanding, and comprehensive evaluation for the safety of live working is very important. The safety of live working in distribution network is affected by many factors, such as the actual operating environment of urban distribution network, the safety production system and the comprehensive quality of the operators, which makes it appear as a hierarchical and non-linear comprehensive evaluation. To this end, a comprehensive evaluation method using G1 weighting method that does not require consistency check is proposed. Through in-depth analysis of the characteristics of live working, a comprehensive evaluation index system for the safety of live working in distribution network is established, and then G1 weighting method is used to determine the respective weights of each index factor, and at last the comprehensive evaluation results are obtained by calculation. Finally, the evaluation and verification for the safety of an actual live working site demonstrates the rationality and effectiveness of the proposed method, which can provide a reference for the safety management of live working sites.

Key words: G1 weighting method; live working of distribution network; comprehensive safety evaluation

0 引言

近年来,随着国民经济的快速增长,作为城市经济一项最基本保障的电力供应,对可靠性的要求越来越高,这也使得供电企业内部对于城市配电网的可靠性越来越重视,对停电越来越难以容忍。因此,具备不停电检修性质的配电网带电作业发展十分迅猛。中国东部发达地区的配电网带电作业每年已经

达到了近万次,产生了极高的社会价值和经济价值。带电作业作为城市配电网未来检修的主要方式,全国其他各地也积极布局,使得近年的带电作业迅猛发展,作业次数急速增长^[1-3]。

虽然,配电网带电作业目前均采用全绝缘化的方式,相比于多年以前采用等电位的作业方式,在基本安全性方面有了较大的进步与保证^[4-6]。但是,带电作业作为一项本身就具备高危险性的工作,其整体安全性还受到安全生产综合管理、工器具及防

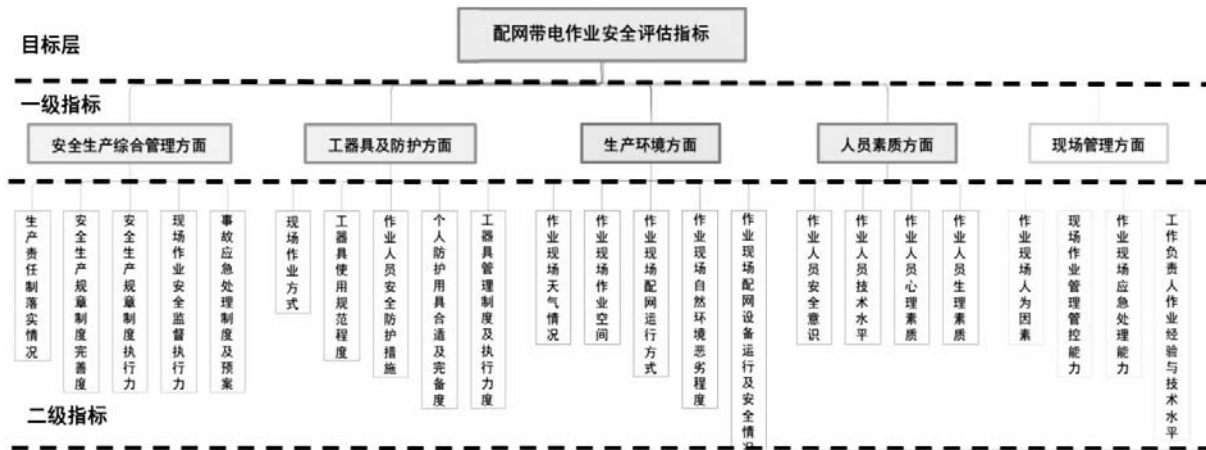


图 1 配电网带电作业安全综合评价指标体系

护、生产环境、人员素质和现场管理等多方面因素的影响,呈现出分层级的多因素非线性特征,不能仅从单一方面进行评价^[7],相关文献研究探讨了输电线路带电作业安全评估的方法^[5,8],但是少有涉及到城市配电网。

基于此,下面提出了一种无需进行一致性检验的改进层次分析法的 G1 赋权法,进行配电网带电作业安全综合评估。

1 配电网带电作业安全综合评价指标体系

配电网带电作业安全性评价是综合多方面因素的评价,在文献 [1,4,8] 的基础上,深入结合了带电作业的生产制度和现场作业管理。从安全生产综合管理、工器具及防护、生产环境、人员素质和现场管理等多个方面进行了细致的指标梳理,建立了涵盖目标层、一级指标、二级指标的递阶层次结构的配电网带电作业安全综合评价指标体系,如图 1 所示。

安全生产综合管理方面:主要是从供电企业的安全生产制度方面进行分析,提取出了生产责任制落实情况、安全生产规章制度完善度、安全生产规章制度执行力、现场作业安全监督执行力和事故应急处理制度及预案等几个二级指标。

工器具及防护方面:主要考虑到带电作业的安全防护和工器具是人员安全的“魂”,其重要性不言而喻。为此,提取出了现场作业方式、工器具(包含带电作业绝缘斗臂车)使用规范程度、作业人员安全防护措施、个人防护用具合适程度和完备程度(如应该穿绝缘服的情况而仅穿了绝缘披肩)以及

工器具管理制度及执行力度等多个二级指标。

生产环境方面:主要通过对作业现场天气情况(风力和湿度等方面)、作业现场作业点的作业空间情况、作业现场配电网运行方式、作业现场自然环境恶劣程度以及作业现场配电网设备运行及安全情况等多个因素进行了深入分析与提取。

人员素质方面:主要通过作业人员的安全意识、技术水平(面对突发情况的技术应急处置能力)、心理素质和生理素质等多个方面进行了分析。

现场管理方面:通过深入分析带电作业现场的管理方式,主要提取了作业现场人为因素、现场管理管控能力、应急处理能力和工作负责人作业经验和技术水平等几个方面的指标。

2 基于 G1 赋权法的配电网带电作业安全综合评估

配电网带电作业安全综合评价主要是确定各指标的权重信息,这里采用 G1 赋权法来确定各指标的权重 w_j 。

2.1 利用 G1 赋权法的指标权重计算

G1 赋权法是层次分析法(analysis of hierarchy process, AHP)的一种改进方法,其主要优势在于^[9]: 1) 计算量小,计算速度快; 2) 无需构造判断矩阵,更无需一致性检验; 3) 具备保序性的特点,方法使用简便。

G1 赋权法对于待评价的指标集 $\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ 确定其序关系的主要步骤为^[9]: 1) 从待评价的指标集中挑选出最不重要或者最重要的那个指标,标记为 X_i ; 2) 对余下的待评价指标集的元素中再选

出最不重要或者最重要的那个,标记为 X_j ; 3) 按以上步骤,以此类推,就可以得到待评价指标集各元素的唯一序关系 $X_i > X_j > \dots > X_k (i, j, k \in \{1, 2, \dots, m\})$ 。最后,再确定各相邻指标之间的相对重要程度。

G1 赋权法作为主观赋权法,需要专家人为地选择相邻指标 X_{k-1} 和 X_k 之间的重要程度,其用数学关系表示为 $r_k = w_{k-1} / w_k$, 式中 w_k 为第 k 个指标的权重系数,且 $k = 2, 3, \dots, m$ 。这样就可以根据之前确定的序关系计算出各指标的重要程度。为了尽可能减少人为因素的偏差, r_k 可以通过多位专家评判再取平均的方式进行计算。通常,可以取最次要指标相对重要程度 $r_m = 1$, 且可参考表 1。

$$r_{k-1} \geq r_k \quad (1)$$

$$w_m = \left[1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i \right]^{-1} \quad (2)$$

$$w_{k-1} = r_k w_k \quad (3)$$

式中, $k = m, m-1, \dots, 2$ 。那么,各指标的权重系数向量可表示为 $W = [w_1, w_2, \dots, w_m]$ 。

表 1 指标权重比较规则

重要程度 r_k	规则
1.0	指标 X_{k-1} 与 X_k 同样重要
1.2	指标 X_{k-1} 与 X_k 稍微重要
1.4	指标 X_{k-1} 与 X_k 明显重要
1.6	指标 X_{k-1} 与 X_k 强烈重要
1.8	指标 X_{k-1} 与 X_k 极端重要
1.1、1.3、1.5、1.7	介于两者之间

2.2 配电网带电作业安全综合评估

在确定了各指标综合权重的基础上,采用模糊综合评价的方法,来确定配电网带电作业安全综合评价结果。主要步骤如下^[8-10]:

1) 划定 5 个评价等级集,即从好到差依次为{A 级; B 级; C 级; D 级; E 级}。

2) 通过确定各子集模糊综合判断矩阵 R_i 。由于有两级评价指标,需要先对二级指标进行综合评判,然后计算得到一级指标的模糊评判结果。

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1c} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2c} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{in1} & r_{in2} & \dots & r_{inc} \end{bmatrix} \quad (4)$$

3) 进行模糊综合评价。为简便易用,采用最大隶属度原则,通过隶属度 $N = W_i \cdot B_i$ 得到评价结

果。例如,通过计算得到对应{A 级; B 级; C 级; D 级; E 级}的各自隶属度为 $N = [N_A \ N_B \ N_C \ N_D \ N_E]$, 若 N_D 最大,按照最大隶属度原则,那么最大的隶属度 N_D 对应的等级 D 就是该评价的最终等级。

3 实例验证

以成都市区某次带负荷更换跌落式熔断器的配电网带电作业为例,其整体为两层指标体系。首先,通过 G1 赋权法计算得到一级指标和二级指标的格子权重,一级指标权重 $W^{(1)} = (0.154, 0.234, 0.207, 0.184, 0.221)$, 二级指标权重 $W_1^{(2)} = (0.184, 0.203, 0.227, 0.205, 0.181)$, $W_2^{(2)} = (0.162, 0.226, 0.249, 0.216, 0.147)$, $W_3^{(2)} = (0.215, 0.224, 0.181, 0.202, 0.178)$, $W_4^{(2)} = (0.284, 0.251, 0.247, 0.218)$, $W_5^{(2)} = (0.268, 0.239, 0.252, 0.241)$, 其中 $W_j^{(i)}$ 表示第 i 级指标下的第 j 个指标的权重向量。

按照模糊综合评价的方法,由各带电作业专家对各级指标进行单独的模糊评判,得到各指标集合的隶属度矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.25 & 0.15 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.15 & 0.15 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.55 & 0.15 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.65 & 0.1 & 0.1 & 0.05 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.45 & 0.3 & 0.15 & 0 \\ 0.1 & 0.55 & 0.35 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.35 & 0.15 & 0.3 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.35 & 0.2 & 0.15 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

然后再结合各指标的权重系数,计算得到一级指标各自隶属度向量为

$$B_1 = W_1^{(2)} \cdot R_1 = [0.20, 0.50, 0.16, 0.12, 0]$$

$$B_2 = W_2^{(2)} \cdot R_2 = [0.12, 0.51, 0.24, 0.11, 0.01]$$

$$B_3 = W_3^{(2)} \cdot R_3 = [0.16, 0.57, 0.11, 0.18, 0.02]$$

$$B_4 = W_4^{(2)} \cdot R_4 = [0.17, 0.43, 0.18, 0.17, 0.24]$$

$$B_5 = W_5^{(2)} \cdot R_5 = [0.20, 0.55, 0.12, 0.13, 0]$$

那么,目标层的隶属度为

$$W^{(1)} \cdot (B_1 B_2 B_3 B_4 B_5)^T = [0.1679, 0.5184, 0.1639, 0.1392, 0.0513]$$

按照最大隶属度原则,第2个隶属度 N_B 数值最大为0.5184,故该次作业对应的安全综合评价等级应为B级,处于较好的安全水平,但也需要注意到其他因素的潜在安全风险,需要持续改善整个作业过程。

4 结 语

在用户和供电企业对可靠性要求越来越高的当下,配电网检修方式必然大规模向带电作业方式转变,而急速的扩张使得带电作业的安全风险问题必须得到足够的重视,为此提出了一种配电网带电作业安全综合评估方法,可为相关企业的管理者提供相应的决策支撑手段,并得到以下结论:

1) 配电网带电作业的安全多方面的影响,同时由于不同管理人员认知的不同,对安全的把控方面侧重不同,为此,以相关文献资料为基础,结合实际带电作业现场,建立了细化完善的安全综合评估指标。

2) 利用G1赋权法确定了各评估指标各自权重

信息,然后建立了以模糊综合评价为基础的配电网带电作业安全综合评估模型,以最大隶属度原则的方式得到最终评价结果。

3) 最后,以某实际带电作业工作的安全综合评估为例,详细计算了整个综合评估过程,验证所提方法的可行性。

参考文献

- [1] 国家电网公司. 供电企业安全风险评估规范 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 成亮. 浅谈 10 kV 配网带电作业 [J]. 图书情报导刊, 2006, 16(14): 288 - 289.
- [3] 应鸿, 景伟强. 杭州电网的主要带电作业方法 [J]. 浙江电力, 2004, 23(6): 72 - 74.
- [4] 罗云, 樊运晓, 马晓春. 风险分析与安全评价 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [5] 彭勇, 雷兴列, 方玉群, 等. 特高压直流输电线路不停用再启动功能情况下的带电作业安全性分析 [J]. 四川电力技术, 2019, 42(4): 85 - 89.
- [6] 张昊. 电网运行安全风险量化评估软件实现 [J]. 云南电力技术, 2017, 45(3): 43 - 45.
- [7] 胡毅. 输电线路带电作业技术的研究与发展 [J]. 高电压技术, 2006, 32(11): 1 - 10.
- [8] 彭熠, 戴刚. 基于层次分析法的输电线路带电作业安全综合评估模型 [J]. 电工技术, 2018, 11(21): 44 - 46.
- [9] 李军, 李继光, 姚建刚, 等. 属性识别和 G1 - 熵权法在电能质量评价中的应用 [J]. 电网技术, 2009, 33(14): 56 - 61.
- [10] 张富超, 芮建勋, 邢楚铭, 等. 采用模糊综合评判方法的供电企业安全评估 [J]. 内蒙古电力技术, 2017, 35(1): 11 - 16.

作者简介:

杨慎涛(1979), 高级工程师, 研究方向为城市配电网管理与新技术应用。

(收稿日期: 2020 - 03 - 02)

(上接第 69 页)

- [3] 丁宣文, 王平. 500 kV 智能变电站二次设备改造方案研究 [J]. 四川电力技术, 2016, 39(6): 59 - 64.
- [4] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 148 - 153.
- [5] 高翔, 杨漪俊, 姜健宁, 等. 基于 SCD 的二次回路监测主要技术方案介绍与分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 149 - 154.

- [6] 王彪, 甄威, 张华, 等. 智能变电站二次系统试验方法综述 [J]. 四川电力技术, 2012, 35(2): 4 - 5.
- [7] 赵永生, 刘海峰, 梁文武, 等. 智能变电站同步整组试验方法 [J]. 中国电力, 2015, 48(5): 156 - 160.

作者简介:

李霞(1988), 硕士, 工程师, 主要从事电力系统调度控制工作;

周文越(1989), 硕士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护运行、检修、研发相关工作。(收稿日期: 2020 - 01 - 15)