

基于健康度和重要度的配电网运行风险评估方法

黄 翌¹,汪 汎¹,谭阳红¹,董旭柱²,吴争荣²,陈 春¹

(1. 湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082;2. 南方电网电力科学研究院,广东 广州 510080)

摘要: 针对故障概率与故障后果风险指标应用于配电网运行风险评估的不足,提出了基于健康度和重要度的配电网运行风险评估方法。综合考虑配电网多样化运行的发展现状和配电用户对供电可靠性需求的差异,定义了面向系统运行状态的健康度和面向用户差异的重要度为风险指标,全面分析在各风险源因素作用下,健康度和重要度等级的确立规则及计算方法,建立风险评估模型,并在此理论基础上开发了风险评估软件功能平台,完成对配电系统的实时感知、评估和预警。以佛山市实际配电系统为示范工程,截取断面数据进行分析,实验结果可反映系统运行的实时风险,在警戒状态下自动生成预防控制措施,保证配电网安全运行,提高供电可靠性,验证了所提方法的正确性和可行性。

关键词: 配电网; 风险评估; 健康度; 重要度; 脆弱点; 软件平台

中图分类号: TM 727

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.06.020

0 引言

近年来随着智能配电网的迅速发展,多种设备的接入使得系统运行方式多样化,带来了更多的安全隐患,基于用户负荷对配电系统供电可靠性的要求,风险评估的重要性逐渐凸显。

目前国内外关于电力系统运行风险评估的研究已取得很大进展,有别于以往的确定性评估和概率性评估方法^[1-3],风险评估体系更能考虑实际运行中的不确定性,满足评估需求。其中发展比较成熟的基于故障概率和故障后果的评估模型,在输电系统中得到了广泛应用,并取得了良好效果。文献[4]基于分散抽样蒙特卡洛算法确定故障后果,进而计算风电接入给发、输电系统带来的风险;文献[5]基于证据推理理论,将元件故障概率综合纳入输电系统运行风险的范畴;文献[6]通过分析负荷与电源之间的相关性,全面考虑在风速不确定性及线路潮流波动情况下的故障概率和故障后果。

但考虑到配电网的运行现状,一方面相对输电主网而言,配电网结构更复杂,设备数量繁多,故障概率不能精确计算;其次,配电网直接面向用户终端,需要考虑不同用户对供电可靠性的需求差异,体现不同用户侧故障造成的停电损失和社会影响的互异性,因此基于故障概率和故障后果的风险指标已无法确切表征配电网的运行特征,适应其发展需求。

收稿日期:2016-03-01;修回日期:2016-04-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61102039);湖南省自然科学基金资助项目(14JJ7029);南方电网公司重点科技项目(WYKJ00000020)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China (61102039), Natural Science Foundation of Hunan Province (14JJ7029) and Key Science and Technology Program of China Southern Power Grid (WYKJ00000020)

文献[7]综合考虑了影响配电设备故障率的内外部因素,以及面向不同用户的设备故障后果,实现了配电设备的停电风险实时评估,但尚未建立系统的风险评估模型;文献[8]在考虑配电网故障风险和检修风险的基础上,提出配电网的检修决策模型,但仅研究了设备的健康状况;文献[9]提出一种考虑元件综合重要度的安全性风险评估方法,但未涉及用户的重要度;文献[10-11]均在考虑故障发生概率及后果的基础上完成风险评估,但是也未考虑到用户供电需求的差异性;文献[12]提出了一种面向用户的配电网运行风险评估方法,在计算故障概率时将时变的失效率和修复率视为稳态量进行估算,但仅适用于短期评估。

本文基于配电网的发展现状及用户需求,提出了一种适用于配电网的在线风险评估方法,综合考虑系统运行状态和供电用户差异,定义了健康度和重要度2个概念,并将风险视为二者的函数,全面探讨了在各风险源作用下健康度和重要度等级的确立规则,在此理论基础上开发了相应的软件功能平台,通过实际的示范工程验证了本文方法的正确性。

1 配电网运行风险评估的现状分析

配电网的运行风险评估旨在针对配电网中潜在的不确定性因素,全面反映故障对配电系统的影响,为调度部门的决策提供正确导向。目前配电网通常采用与主网一致的评估方法,由两部分进行综合度量,分别是故障的可能性(故障概率)及故障的严重性(故障后果),通过某一特定时刻 t 的故障概率与故障后果的乘积确定配电系统的实时风险^[7],如式(1)所示。

$$R(t) = \varphi(t)C(t) \quad (1)$$

其中, $R(t)$ 为 t 时刻的配电系统运行风险; $\varphi(t)$ 、 $C(t)$ 分别为 t 时刻的故障发生概率及故障停电损失。

文献[12]在建立预想事故集的基础上,将配电网运行风险进一步细化为:

$$R(X_t) = \sum_{i=1}^M p_r(E_i) \delta_{sev}(X_k | E_i) \quad (2)$$

其中, X_t 为系统当前的运行方式; E_i 为第 i 个预想故障状态; M 为预想故障状态的总数; $p_r(E_i)$ 为预想故障状态 E_i 的发生概率; X_k 为预想故障状态 E_i 发生后按恢复供电策略进行处理后的运行方式; $\delta_{sev}(X_k | E_i)$ 为预想故障状态 E_i 发生后系统的故障严重程度。

然而近年来随着分布式电源以及柔性负荷的接入,配电网运行方式多样,不同的评估时间点的主要风险源因素不断变化,从而导致系统故障的促成概率难以计算;另外配电网用户承受风险的能力各异,应将此差异性纳入风险评估的考虑范围,指导调度员在系统异常情况下进行正确决策,最大限度地保证重要用户的供电连续性。综上所述,提出一种行之有效的配电网专用风险评估方法迫在眉睫。

2 基于健康度和重要度的风险评估

针对智能配电网的发展现状和需求^[13-15],本文提出了一种基于健康度和重要度指标的在线风险评估体系,如图 1 所示。该评估体系分为配电设备风险和配电系统风险 2 层,系统的运行风险建立在系统内

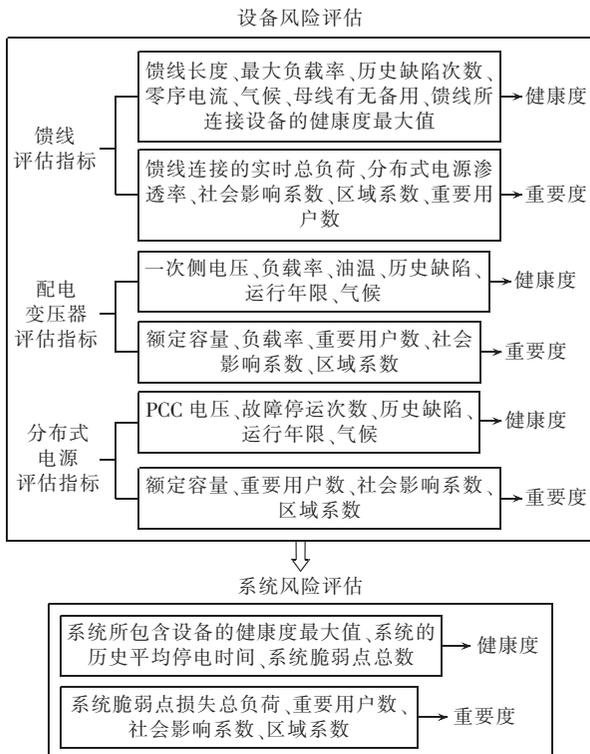


图 1 基于健康度和重要度的配电网运行风险评估体系

Fig.1 Operational risk assessment system based on health and importance indexes for distribution network

所包含的馈线、配电变压器、分布式电源等基本设备的运行风险基础上,是设备风险的集中体现。

将 t 时刻系统或所含设备的风险模型表述为:

$$R(t) = H(t) I(t) \quad (3)$$

其中, $H(t)$ 、 $I(t)$ 分别为 t 时刻系统或设备的健康度和重要度指标,表征综合考虑各影响因素的情况下,系统或设备的运行状态以及用户侧故障损失差异的量化结果,两者取值范围均为 $[1, 5]$ 。

2.1 面向运行状态的健康度指标

本文采用健康度指标 $H(t)$ 描述配电系统的运行状态,其定义如式(4)所示。

$$H(t) = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{M_1} (\omega_j(t) G_j(t))^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{M_1} \omega_j^2(t)}} \quad j=1, 2, \dots, M_1 \quad (4)$$

其中, $G_j(t)$ 为 t 时刻第 j 个影响因素中所确定的健康度等级,针对实时断面下该因素的属性,依据一定规则进行量化取值; $\omega_j(t)$ 为 t 时刻第 j 个影响因素所对应的权重,通过设置权重凸显各因素的作用力度; M_1 为健康度影响因素总个数。 $H(t)$ 值越小,表明配电系统的工作状态越理想。

一般而言,配电网的运行状态是否良好取决于 2 点:系统中的配电设备健康状况、设备间的拓扑连接关系。其中,配电设备的健康状况是内部因素和外部因素共同作用的结果,内部因素包括馈线、变压器等设备的自身缺陷或过负荷运行等;外部因素主要指风雨、雷击等天气因素对设备造成损坏,从而带来一定的故障停电概率。因此,对配电系统的健康度等级进行量化评价时,可选择以下影响因素:系统内工作状态最薄弱的设备(即所包含设备的最大健康度等级)、系统的历史平均停电时间以及在预想事故集的基础上利用实时断面数据得到的系统脆弱点总数,具体量化规则如表 1 所示。

表 1 系统健康度等级量化规则

Table 1 Quantization rules of system health index

健康度等级	影响因素		
	系统内设备健康度	历史平均停电时间/h	脆弱点数
1		[0, 2)	[0, 3)
2	所含设备的最大健康度	[2, 4)	[3, 8)
3	健康度等级	[4, 12]	[8, 12]
4		(12, 24]	(12, 20]
5		(24, +∞)	(20, +∞)

在脆弱点评估步骤中,提出脆弱度指标,如式(5)所示。

$$\delta = \varepsilon_1 \left(\sum_{i=1}^{N_1} \lambda_i S_i^f / \sum_{j=1}^{N_2} \lambda_j S_j^A \right) + \varepsilon_2 \left(\sum_{i=1}^{N_1} C_i^f / \sum_{j=1}^{N_2} C_j^A \right) \quad (5)$$

其中, N_1 为故障后失电的配电变压器数目; N_2 为系统总配电变压器数目; λ_i 和 λ_j 分别为第 i 个发生故障失电的配电变压器所连接的用户负荷等级及第 j

个配电变压器所连接的用户负荷等级, $0 < \lambda_i \leq 1, 0 < \lambda_j \leq 1$; S_i^F 和 S_j^A 分别为第 i 个发生故障失电的配电变压器容量及第 j 个配电变压器的容量, 单位均为 kW; C_i^F 和 C_j^A 分别为第 i 个故障失电的配电变压器所连接的用户数目及第 j 个配电变压器所连接的用户数目; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 为权重系数; $i=1, 2, \dots, N_1; j=1, 2, \dots, N_2$ 。若 δ 大于预先设定的阈值 δ_0 , 则认为该故障点为脆弱点。

式(4)同样适用于配电网内单个设备的健康度值求解, 例如馈线的健康度受到线路长度、最大负载率、气候等 7 个因素的影响, 如图 1 所示, 假设在某实时运行状态下所确定的健康度等级 $G_j(t)$ 分别为 2、1、1、1、1、3, 对应权重 $\omega_j(t)$ 分别为 2、3、3、2、2、1、2, 则可计算出该时刻下此馈线的健康度约为 1.502。

2.2 面向用户差异的重要度指标

为了最大限度地保障重要负荷的连续用电, 响应国家电力行业的差异化供电服务政策, 本文通过重要度指标 $I(t)$ 将用户负荷差异性纳入配电系统风险评估的考虑范畴, 其定义如式(6)所示。

$$I(t) = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{M_2} (\xi_k(t) F_k(t))^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{M_2} \xi_k^2(t)}} \quad k=1, 2, \dots, M_2 \quad (6)$$

其中, $F_k(t)$ 为 t 时刻第 k 个影响因素所确定的重要度等级; $\xi_k(t)$ 为 t 时刻第 k 个影响因素所对应的权重; M_2 为重要度影响因素的总个数。 $I(t)$ 值越大, 表征配电系统越重要, 即所面向的用户对当前供电可靠性要求越高。

根据《供配电系统设计规范》及国家电监会的相关规定, 将配电系统的重要供电用户负荷划分为 3 个等级: 特级重要用户指国家级事务办理场合; 一级重要用户指机场、铁路调度中心、军队指挥机关等若发生故障停电会带来重大政治影响及经济损失的供电场合; 二级重要用户指科研单位、医院、重要院校等中断供电会造成较大政治影响及经济损失的用电负荷。系统所带重要负荷的等级越高、数目越多, 表示系统故障可能造成的损失越大, 即系统的风险越大。其次, 系统的重要度也与系统内所含设备的重要度有关, 若系统中某馈线段被评估为脆弱点, 其不可转供的负荷越多, 表明该馈线段越重要, 配电系统的重要性也随之增大。此外, 考虑到用户对于不同故障时段的反应不同, 例如工作日、节假日和特殊保电期的故障对用户满意度的负面影响依次递增; 不同的地理位置发生停电故障, 例如经济发达城区和偏远农村地区, 引起的损失也具有差异性。因此, 对系统运行风险的全面评估需要将社会影响层面和供电区域级别一并考虑在内。综上所述, 对配电系统的重要度进行量化评价时, 应分析以下因素: 系统所

连接的重要用户数目、系统脆弱点处若进行切负荷操作将损失的负荷量总和、社会影响系数以及区域系数, 具体的量化规则如表 2 所示。

表 2 系统重要度等级量化规则

Table 2 Quantization rules of system importance index

重要度等级	影响因素			
	重要用户数目	脆弱点损失负荷 / (kV·A)	社会影响系数	区域系数
1	无	≥ 0	工作日	B、C 类区域非中心
2	二级 ≥ 10	≥ 600	—	A 类区域非中心
3	二级 ≥ 20	≥ 1000	节假日	C 类区域中心
4	二级 ≥ 30 或一级 ≥ 10	≥ 1600	—	B 类区域中心
5	特级 ≥ 5	≥ 3200	特殊保供电期	A 类区域中心

同样, 配电网所包含设备的重要度也可依据式(6)计算。例如馈线的重要度受到馈线实时负荷总量、连接的重要用户数目等 5 个因素的影响, 假设在某实时运行状态下所确定的重要度等级 $F_k(t)$ 分别为 3、1、1、1、4, 对应权重 $\xi_k(t)$ 分别为 3、3、2、1、2, 则可计算出该时刻下此馈线的重要度约为 2.427。

2.3 系统风险等级的建立

基于配电系统运行的健康度和重要度指标, 可通过二维图形展示系统的实时风险, 如图 2 所示, 将系统风险划分为 3 个等级, 其中白色区域为正常域, 浅灰色区域为警戒域, 深灰色区域为紧急域。由图 2 可知, 在同一重要度等级下, 系统健康度越小, 即工作状态越理想, 对应的运行风险越低; 同理, 同一健康度等级下, 系统重要度越小, 即所连接用户对供电可靠性要求越低, 承受的风险等级也越低。

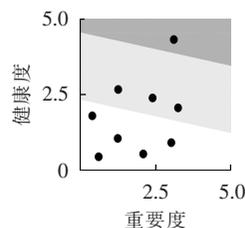


图 2 配电网运行风险等级
Fig.2 Operation risk levels of distribution network

基于当前的评估结果, 调度员可判别系统的实时风险并进行相关操作。若系统的运行点落在正常域内, 则进行优化控制, 在满足安全性和完整性的约束条件下减小网络损耗; 若系统处于警戒域, 则表明出现了节点电压或馈线负载率等参数越限, 此时需要启动预防性重构或采取切负荷等措施, 尽快调整系统的运行方式; 若系统位于紧急域, 则需要快速完成故障定位与隔离, 通过网络重构或分布式电源孤岛运行保障供电等手段实现非故障区域内重要负荷的转供, 减小故障损失。

2.4 风险评估软件平台

为便于实际的工程应用, 本文在所提出的配电

系统运行风险评估理论上开发相应的软件功能平台,系统及其内部设备在未触发风险源时均运行于正常域。该平台结合数据传输单元(DTU)等智能终端对配电系统的运行状态进行实时感知、风险评估和安全预警,同时集成了自愈功能,在评定系统运行有风险时自动生成预防控制措施,由调度员决定是否执行,因而具有良好的人机交互功能。

3 工程示例

本文所提出的风险评估体系已在佛山市金融高新区某 10 kV 配电系统中进行应用,取得了良好的效果。该配电系统包括了两供一备、三供一备、单环网和辐射状等南方电网典型接线模式,其简化节点系统如图 3 所示。其中,节点 1、21、41 为电源点, T_{63} 、 T_{64} 、 T_{65} 、 T_{66} 为联络开关。节点 1—20 及其所连线路构成子网 1,节点 21—40 及其所连线路构成子网 2,节点 41—62 及其所连线路构成子网 3,3 个子网通过联络开关连接,互为备用。

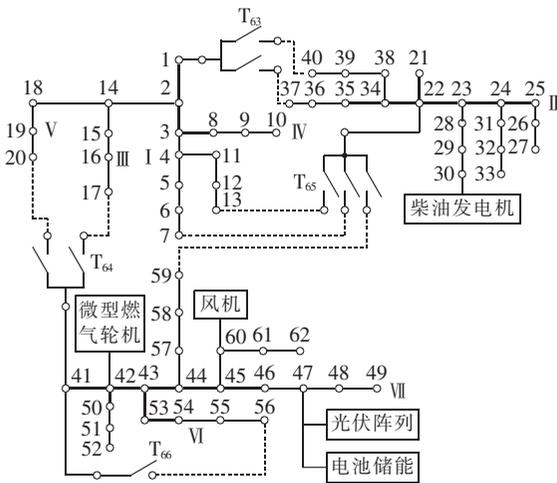


图 3 实际配电系统简化结构

Fig.3 Simplified structure of an actual distribution system

假设外界天气为红色台风预警,结合当地的用户信息和系统运行的实时断面数据,以及设备的历史缺陷统计数据,可计算出各配电设备的健康度与重要度。以图 3 中的 I 线(节点 2—7)为例,其风险评估结果如表 3 所示,进而可计算该时刻下 I 线的健康度为 3.303、重要度为 2.681,由图 2 知 I 线落于浅色警戒域内,需要针对该馈线采取预防控制措施,如减小负载率等。采用同样的方法对系统中其他配电设备的运行风险进行分析,并在此基础上进行系统健康度和重要度的评估,结果如表 4 所示,最终得到系统实时的健康度和重要度值分别为 2.770 和 3.150,位于警戒域。这表明外部台风天气给配电系统运行带来了风险,调度员应对风险评估体系发出的预警信号引起重视,并对实时越限指标进行处理,避免系统进入紧急域,造成停电事故。

表 3 I 线的风险评估结果

Table 3 Results of risk assessment for Feeder I

风险指标	影响因素	权重	实时指标等级
健康度	馈线长度	2	3
	馈线最大负载率	3	4
	馈线中设备最大健康度	3	3
	零序电流	2	1
	天气	2	5
	母线有无备用	1	1
重要度	历史缺陷次数	2	2
	馈线所接当前负荷的总和	3	4
	重要用户数	3	1
	社会影响系数	2	1
	分布式电源渗透率	1	1
	区域影响系数	2	3

表 4 配电系统的风险评估结果

Table 4 Results of risk assessment for distribution system

风险指标	影响因素	权重	实时指标等级
健康度	所包含设备最大健康度	3	4
	历史平均停电时间	3	1
重要度	脆弱点总数	2	2
	重要用户数	3	1
	系统脆弱点所切负荷的总和	3	5
	社会影响系数	3	1
	区域系数	2	4

在上述台风天气和系统运行断面数据下,可利用风险评估软件平台展示系统和设备的实时评估结果。以系统中所含馈线为例,其评估结果如图 4 所示,可知有 6 条馈线因风险值较高落入警戒域,结果如表 5 所示,其中 II 线(节点 22—25)的健康度与重要度值相对较高,表明该馈线实时运行状态最恶劣,同时该馈线所连接用户对供电可靠性的要求最高,因而 II 线发生故障的风险最大。综上所述,基于健康度和重要度指标的风险评估体系不仅能够实时反映配电系统或设备的运行状态,还可直观体现出用户承担风险的能力差异,为上层调度工作提供基础。因此,相对以往的评估体系而言,本文所采用方法避免了对故障概率的模型求解,同时比故障后果风险指标具备更丰富全面的信息。

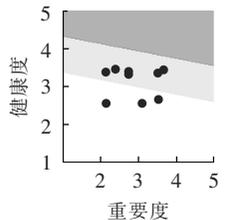


图 4 馈线风险评估结果

Fig.4 Results of risk assessment for feeders

表 5 位于警戒域的馈线风险评估结果

Table 5 Results of risk assessment for feeders in alert area

馈线	健康度	重要度
I 线(节点 2—7)	3.303	2.681
II 线(节点 22—25)	3.425	3.667
III 线(节点 14—17)	3.276	3.543
IV 线(节点 3—10)	3.285	2.681
V 线(节点 14—20)	3.281	2.151
VI 线(节点 43—56)	3.390	2.357

增大Ⅱ线负载率及其所关联的重要用户数目,该馈线的运行风险直接移入深色紧急域,如图 5 所示。线路的健康度和重要度值分别增大至 3.595 和 4.630,进一步验证了影响因素对风险值的作用。

再假定另一断面下,馈线线路Ⅶ线(节点 43—49)因过载触发风险预警信号,首端线路负载率达 95%,此时风险评估体系计算得到该馈线健康度和重要度分别为 3.360、2.919,同时自动生成可行的预防性重构方案供调度员参考,如表 6 所示,告知线路负载率指标超限,需要将位于馈线Ⅶ上某公用配电站内的断路器 QF_1 由合闸变为分闸,从而通过调整开关状态的配置优化系统运行。

表 6 预防控制方案信息

Table 6 Information of preventive control measures

预防重构方案		最大负载率/%		首端负载率/%	
设备	操作	操作前	操作后	操作前	操作后
QF_1	合闸 → 分闸	122	73	95	36

执行重构方案后,首端线路负载率降至 36%,过载提示信号消除,此时馈线的健康度和重要度分别为 2.730、2.487,馈线线路的工况恢复正常,验证了警戒状态下风险评估体系生成的预防控制方案的有效性。

4 结论

本文针对智能配电网的发展现状,提出了基于健康度和重要度的配电网运行风险评估方法。文中首先分析了配电系统中采用基于故障概率和故障后果的风险评估方法的不足,在考虑配电网具体评估需求的基础上提出了新的风险模型,将风险视为健康度与重要度的函数,综合考虑系统的运行状态和供电用户的差异性,研究在影响配电系统或设备风险值的各因素作用下,健康度和重要度等级的确立规则,建立了一套较为完整有效的配电网运行风险评估体系,并在此理论基础上开发了相应的风险评估软件功能平台。最后,以佛山市实际配电系统为示范工程,对系统的运行风险进行实时评估和二维展示,实验结果能满足评估要求,证明了本文所提方法的准确性和可行性;此外软件平台还实现了预警和自愈功能,在警戒状态下为调度员提供具体的预防操作,有利于快速恢复配电网的安全运行,对风险评估的工程应用有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 卢秀琼,颜伟,余娟,等. 静态电压稳定预防控制的风险评估[J]. 电力自动化设备,2014,34(8):65-70.
HU Xiuqiong, YAN Wei, YU Juan, et al. Risk assessment for preventive control of static voltage stability[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(8): 65-70.
- [2] 王增平,姚玉海,张首魁,等. 基于 k 最短路径算法的负荷停电风险在线评估[J]. 电力自动化设备,2016,36(1):1-5.
WANG Zengping, YAO Yuhai, ZHANG Shoukui, et al. Online outage risk assessment based on k -th shortest path algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(1): 1-5.
- [3] 杨悦,李国庆,王振浩. 基于可信性理论的含风电电力系统电压稳定概率评估[J]. 电力自动化设备,2014,34(12):6-12.
YANG Yue, LI Guoqing, WANG Zhenhao. Probabilistic voltage stability assessment based on credibility theory for power system with wind farm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(12): 6-12.
- [4] 蒋程,刘文霞,张建华,等. 含风电接入的输电系统风险评估[J]. 电工技术学报,2014,29(2):260-270.
JIANG Cheng, LIU Wenxia, ZHANG Jianhua, et al. Risk assessment of generation and transmission systems considering wind power penetration[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 260-270.
- [5] GUO L, GUO C X, TANG W H, et al. Evidence-based approach to power transmission risk assessment with component failure risk analysis[J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2012, 6(7):665-672.
- [6] LI Xue, ZHANG Xiong, WU Lei, et al. Transmission line overload risk assessment for power systems with wind and load-power generation correlation[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, 6(3):1233-1242.
- [7] 赵会茹,李娜娜,郭森,等. 配电网设备故障停电风险实时评估[J]. 电力自动化设备,2014,34(11):89-94.
ZHAO Huiru, LI Nana, GUO Sen, et al. Real-time risk assessment on equipment failure outage of distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(11): 89-94.
- [8] 栗然,王飞飞,李增辉. 基于风险评估的配电网检修决策优化[J]. 电力自动化设备,2013,33(11):1-8.
LI Ran, WANG Feifei, LI Zenghui, et al. Maintenance decision making optimization based on risk assessment for distribution system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(11): 1-8.
- [9] 刘沛清,李华强,赵阳,等. 考虑元件综合重要度的电网安全性风险评估方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):132-138.
LIU Peiqing, LI Huaqiang, ZHAO Yang, et al. Power grid security risk assessment considering comprehensive element importance index[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(4): 132-138.
- [10] JIA Hongjie, QI Wenjin, LIU Zhe, et al. Hierarchical risk assessment of transmission system considering the influence of active distribution network[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2015, 30(2):1084-1093.
- [11] SHAH R, YAN R, SAHA T K. Chronological risk assessment approach of distribution system with concentrated solar power plant[J]. IET Renewable Power Generation, 2015, 9(6):629-637.

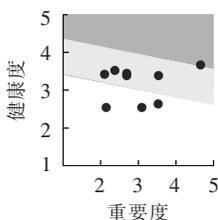


图 5 影响因素改变后的风险评估结果

Fig.5 Results of risk assessment with changed influencing factors

- [12] 刘健,韩磊,张志华. 面向用户并考虑紧迫性的配电网运行风险评估[J]. 电力自动化设备,2015,35(2):97-102.
LIU Jian,HAN Lei,ZHANG Zhihua. Customer-oriented distribution network operational risk assessment considering urgency [J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(2):97-102.
- [13] 葛少云,王浩鸣. 基于系统状态转移抽样的含分布式电源配电网可靠性评估[J]. 电力系统自动化,2013,37(2):28-34.
GE Shaoyun,WANG Haoming. Reliability evaluation of distribution networks including distributed generations based on system state transition sampling[J]. Automation of Electric Power System,2013,37(2):28-34.
- [14] 段东立,武小悦,邓宏钟. 基于时变故障率与服务恢复时间模型的配电系统可靠性评估[J]. 中国电机工程学报,2011,31(28):57-64.
DUAN Dongli,WU Xiaoyue,DENG Hongzhong. Reliability evaluation of distribution system based on timevarying failure rate and service restoration time model[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(28):57-64.

- [15] ALVEHAG K,SODER L. Risk-based method for distribution system reliability investment decisions under performance-based regulation[J]. IET Generation,Transmission & Distribution,2011,5(10):1062-1072.

作者简介:



黄 翌

黄 翌(1985—),女,湖南岳阳人,讲师,博士研究生,主要研究方向为电力系统运行控制(E-mail:skyhuang1985@hotmail.com);

汪 沅(1972—),男,辽宁抚顺人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为高电压绝缘技术、气体放电理论及其应用技术、电力系统运行控制(E-mail:wangfeng55@263.net);

谭阳红(1971—),女,湖南娄底人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统保护与控制、电力设备故障诊断(E-mail:tanyho@126.com)。

Operational risk assessment based on health and importance indexes for distribution network

HUANG Zhao¹,WANG Feng¹,TAN Yanghong¹,DONG Xuzhu²,WU Zhengrong²,CHEN Chun¹

(1. College of Electrical and Information Engineering,Hunan University,Changsha 410082,China;

2. Electric Power Research Institute,China Southern Power Grid,Guangzhou 510080,China)

Abstract: Aiming at the deficiency of the operational risk assessment based on the fault probability and fault consequence indexes,a method based on the health and importance indexes is proposed for the operational risk assessment of distribution network,which comprehensively considers various operating modes of distribution network and different requirements of consumers for power-supply reliability,defines the health index orienting to system working conditions and the importance index orienting to different consumers,sets their quantization rules and calculation methods based on the comprehensive analysis of all risk sources,and establishes the risk assessment model. A risk assessment software platform is developed to realize the functions of real-time perception,evaluation and warning for distribution network,by which,the sectional data of Foshan distribution network are analyzed,the real-time risk of system operation is demonstrated,and the preventive control measures are automatically generated in alert condition to ensure the safe operation of distribution network and enhance the power-supply reliability. The experiment verifies the correctness and feasibility of the proposed method.

Key words: distribution network; risk assessment; health index; importance index; vulnerable point; software platform