

文章编号:1005-0523(2015)04-0090-08

面向自愈的智能配电网健康状态综合评价研究

程宏波¹, 吴思宇², 詹骥文¹, 王 勋¹, 李林哲¹

(1.华东交通大学电气与工程学院,江西 南昌 330013;2.江西省科学技术情报研究所,江西 南昌 330000)

摘要:自愈是智能配电网的显著特征之一,根据配电网的监测数据对其健康状态进行实时评估,是对配电网实施状态转移以达到自愈控制的前提。在分析智能配电网特点的基础上,提出面向智能配电网的健康状态评价指标,利用熵权法建立指标权重,采用模糊数学的隶属度函数建立指标的隶属关系,将指标权重与指标隶属度相结合建立一种智能配电网健康状态的综合评价方法。验证分析表明该方法可根据智能配电网检测到的众多参数信息,对其健康状态做出实时准确的评价,可为配电网的状态转移控制提供依据。

关键词:智能配电网;自愈;健康状态;评估;模糊;熵权

中图分类号:TM732

文献标志码:A

分布式电源的接入、用户互动电力的增加,使得智能配电网的动态行为变得复杂,运行风险大大增加^[1],对其实施自愈控制是智能配电网的基本要求。自愈(self-healing)是智能配电网显著的特征。自愈是指把电网中有问题的元件从系统中隔离且在较少或无需人为干预的情况下使系统迅速恢复到正常运行状态,而几乎不中断对用户的供电服务^[2]。实现配电网可靠的自愈控制,确保电网的安全可靠、经济环保和优质高效是当前重要且紧迫的任务。

目前,对于电网自愈控制的研究,较多的关注于电网自愈框架体系的构建^[3-6],对于具体的自愈实现方法的研究则相对较少,文献[3]提出一种基于状态转移的自愈控制方案,提出将配电网划分为紧急、恢复、异常运行、隐性安全、显性安全、经济运行和强壮运行等7个状态,根据状态分别进行相应的控制,由控制决策中心控制配电网在7个状态之间转换,以使配电网始终保持在良好状态;而文献[4]提出一种基于智能体群体系统的城市电网分层递阶的自愈控制方法,根据智能体反应出城市电网的运行状态,从而选择合适的控制方式与控制策略;文献[5]将配电网运行划分为正常、预警、临界、紧急和恢复5种状态,针对不同的运行状态实施相应的控制方法。上述文献的根本思想是在配电网状态实时判断的基础上,采取不同的自愈控制方法,控制配电网向更好的运行状态转化,为配电网的自愈控制提供了可行的解决思路,但上述文献都只关注于在不同状态之间进行转移的控制策略,而未对配电网状态评价的具体方法进行研究。实现配电网自愈控制的前提在于配电网实时运行状态全面、准确地评价。目前对配电网规划的研究较多^[7],它们多关注电网中长期的网架及设备的长期状态,并不能反应配电网的实时运行情况。寻找合适的状态评价方法,为智能配电网的自愈控制提供依据是当前进行自愈研究的前提。

智能配电网是一个复杂的大系统,其设备众多,检测信息种类繁多,且量纲不一,要实现对智能配电网状态的评价,不能单从某一方面进行评价,需要分别从不同的角度综合反应其运行状态。

因此,通过分析智能配电网同传统配电网区别,在传统配电网评价的基础上,考虑智能电网的经济性、

收稿日期:2015-03-03

基金项目:国家自然科学基金项目(51267004);江西省自然科学基金项目(20142BAB216027)

作者简介:程宏波(1979—),男,副教授,博士,研究方向为牵引供电系统健康管理、故障诊断及预测等。

环保性的区别,建立针对智能配电网实时运行状态评价的指标体系;利用模糊数学对评价指标的数据进行处理,建立判断矩阵;根据各指标自身变化所反映出的客观规律,采用熵权法来确定各指标的权重,实现不同阶段不同指标权重的动态调整;最后通过模糊综合评估得到智能配电网健康状态的综合评价结果,可为基于状态转移的智能配电网自愈控制提供依据。

1 评价指标

建设智能电网的目标是要建设一个安全、可靠、优质、经济、清洁环保的坚强电网^[8],这5个方面较为全面系统地反映了智能电网的主要特征,因此,从可靠性、安全性、优质性、经济性及环保性5个方面建立评价指标,得到如图1所示的综合评价指标体系。

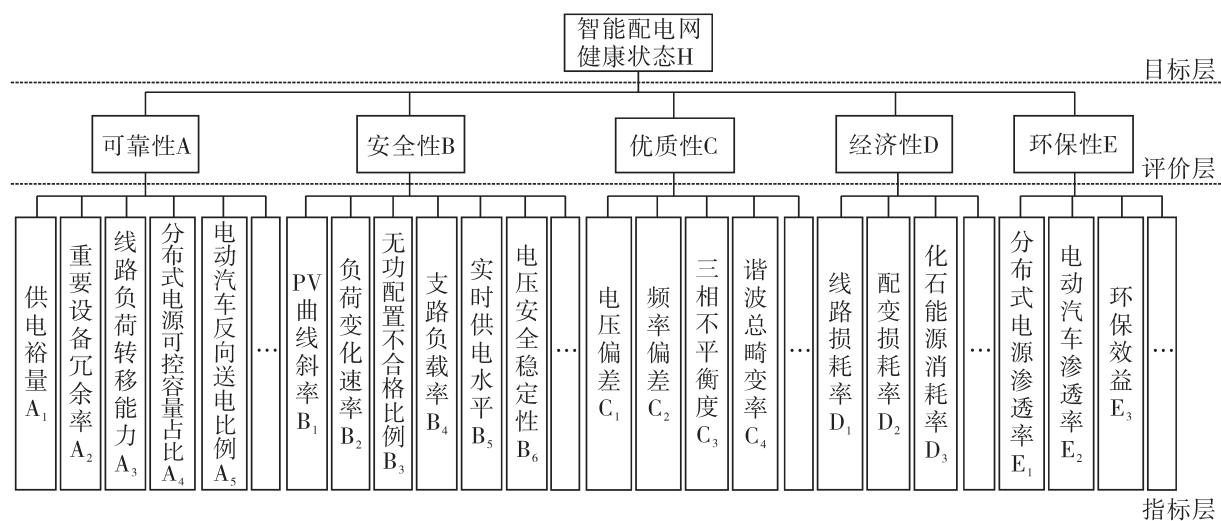


图1 智能配电网健康状态评价体系

Fig.1 The health status evaluation system in smart distribution grid

1.1 可靠性指标

电力可靠性是指电网及设备在规定时间内按规定标准供应电能的能力^[9]。智能电网中,由于分布式电源以及V2G技术的应用,智能配电网供应电能的能力会受到影响,因此需在配电网传统可靠性指标的基础上,增加以下指标。

1) DG可控容量占比 A_4 。分布式电源的接入增加了配电网的供电能力,但由于分布式发电的运行方式较为灵活,用衡量传统电源供电能力的指标不太适合,因此,定义分布式电源的可控容量比为

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n P_i / P_c \quad (1)$$

式中: λ_c 为DG可控容量占比; P_i 为第*i*种DG的调控容量; P_c 为系统总可控容量。

可以看出,当可控容量占比越大,可接入的分布式电源出力越大,整个配电网的供电能力就越强,其可靠性越高。

2) 电动汽车的反向送电比例 A_5 。众多的电动汽车视为配电网的一个有效的储能系统,在配电网用电低谷时,电动汽车可作为负荷吸收电能,在用电高峰时可将电动汽车的储能释放至配电网,作为备用电源增加了电网的供电能力,提高了配电网的供电可靠性。定义电动汽车的反向送电能力为

$$\lambda_{fs} = \sum_{i=1}^n L_{i-} / \sum_{i=1}^n L_{i+} \quad (2)$$

式中: λ_{fs} 为电动汽车对潮流的反送能力; L_{i-} 为第*i*辆汽车向电网的放电量; L_{i+} 为第*i*辆汽车从电网吸收的电量。

可以看出, λ_{fs} 的值越大表明电动汽车对潮流的反送能力越好, 可靠性相对越高。

1.2 安全性及优质性指标

电网安全性是指系统在发生故障情况下, 短时间内系统维持持续供电的能力^[10]。目前, 衡量配电网安全性的指标主要有支路负载率、PV 曲线斜率、电压安全稳定性等^[11], 智能配电网在网架结构及承受波动性能力方面同传统配电网没有太大的区别, 因此此类指标与传统配电网评价指标相同。

电力系统的优质性主要体现在电能质量^[12], 电能质量的衡量主要从电压、频率和波形、三相不平衡度等方面来反应优劣, 智能电网中电能质量的衡量指标与传统配电网基本一致。

1.3 经济性指标

电网经济性是指电网运行在供电成本率低或发电能源消耗率及网损率最小的状态时反映的经济效益。传统配电网中, 经济性主要从线路和配变损耗来衡量^[13-14], 而由于分布式电源的接入将有效降低传统化石能源的消耗率; 因此, 定义智能配电网化石能源消耗率 D_3 指标如下:

$$\lambda_{sh} = \sum_{i=1}^n P_i' / \eta C \quad (3)$$

式中: λ_{sh} 为接入 DG 的能源消耗改善率; P_i' 为第 i 座分布式发电站单位时间的发电量; η 为煤电转换系数; C 为单位时间电网的煤耗量。

从式(3)可以看出, 若分布式电源的发电量越大, 指标值越大, 反映出发电厂对用户发送相同电量下所消耗的煤炭数量越少, 经济性相对越高。

1.4 环保性指标

绿色环保是智能配电网同传统配电网的显著区别之一, 清洁能源的接入及电动汽车的普及, 不仅缓解了对于传统化石能源的依赖, 而且大大降低了温室气体的排放, 使得环境友好成为智能配电网区别于传统配电网的一个显著特征。本文选取分布式电源电动汽车的渗透率指标、温室气体减排的环保效益指标来反应智能配电网的环保性, 指标定义如下:

1) 分布式电源渗透率 E_1 。智能配电网的绿色环保主要体现在清洁能源的有效利用中, 并且通过合理接入还能够有效地降低网损, DG 的渗透率指标表示为

$$\lambda_{DG} = \sum_{i=1}^n P_i / P_{Lmax} \quad (4)$$

式中: λ_{DG} 为 DG 的渗透率; P_i 为第 i 座分布式电源的发电量; P_{Lmax} 为电网最大负荷功率; n 为接入的配电网分布式电源数量。

从式中可看出, 渗透率越高表明清洁能源在整个系统所占比例越高, 环保性越好。

2) 电动汽车渗透率 E_2 。电动汽车的使用实现了汽车尾气的零排放, 对环境保护起着巨大的改善, 电动汽车渗透率指标表示为

$$\lambda_{st} = NP_e / P_f \quad (5)$$

式中: λ_{st} 为电动汽车渗透率; N 为全网同时能够接入的电动汽车数量; P_e 为电动汽车充电功率, 假设充电与放电功率相等; P_f 为全网负荷曲线的峰荷。

从式中可看出, λ_{st} 的值越大, 表示在电网运行接入电网中的电动汽车数量越多, 则环保性越高。

3) 环保效益 E_3 。传统火力发电对环境的污染严重, 分布式电源对配电网具有显著的环境效益, 主要体现在分布式电源的接入对温室气体的减排。可以将环保效益表示为

$$C_{en} = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_i' \quad (6)$$

式中: C_{en} 为 DG 发电的环境效益; α_i 为第 i 种分布式电源的环境价值, 参考文献[14]以风力发电为例, 通过

计算得到风电带来的环境价值为0.149 1 元/kWh。

2 基于熵权法的指标权重确定

配电网运行状态涉及到的指标较多,它们分别从不同侧面对配电网运行状态进行描述。在对配电网的健康状态进行评估时,合理确定各指标的权重是评估结果的关键。

在配电网运行的不同阶段,调度运行人员对配电网控制所关注的重点是不同的。在正常运行阶段,配电网各部分工作正常,外部扰动的影响小,无故障情况的冲击,此时电网安全性和可靠性指标的波动较小,而经济性与环保性指标的波动则相对较大,调度人员将更多关注配电网的运行是否趋向于经济环保;而当受到外部扰动或某些元件退出运行而使系统处于异常状态时,安全性可靠性指标相对于其它指标的波动更为剧烈,调度人员将更多关注如何清除扰动的影响并尽快恢复电网供电,此时,对安全可靠性的关注则要优先于其他指标。故在不同运行阶段,各指标的波动程度不同,波动越大的指标越需要加以更多地关注,相应地,在评价时则应赋予更多的权重,以便其影响能得到准确地体现。这种权重可以根据信息论中的熵权法进行分析。

在信息论中以熵值反应系统的波动程度,若评价指标的波动程度越大,对应指标的熵值越小,则该指标提供的信息量越大,相对权重就越高,这与熵权法的基本思想是一致的。熵权法是一种能够挖掘数据本身所蕴含客观规律的权重确定方法,其克服了仅凭专家经验确定指标权重的主观随意性,反映的权重系数更为真实可靠^[15-16],熵的定义为

$$\beta = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (7)$$

式中: β 为指标的熵值; k 为系数,取 $\frac{1}{\ln n}$; P_{ij} 为指第 j 项指标下第 i 种状态指标值的比重。

第 i 个指标的熵权为

$$w_{ij} = (1 - \beta_i) / \sum_{i=1}^n (1 - \beta_i) \quad (8)$$

可得到熵权法的评价指标权重向量 $w = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$ 。

通过上述对熵权的定义可看出,当配电网某个指标的波动较大时,对应的指标变量的概率 P_{ij} 值越高,与之成正比的熵权值越大,与配电网控制的实际情况相符。

3 运行状态的划分

评价配电网运行状态,需要将配电网状态进行科学合理地划分,以便在此基础上采取适当的处理措施使配电网朝良好的自愈状态转化。常用的划分方法是将配电网划分为经济、正常、脆弱、恶化、极端5个状态,然后在此基础上分别实施恢复、校正、优化等自愈控制。各状态的定义如表1所示。

表1 配电网运行状态程度定义

Tab.1 Definition of distribution grid's running state

划分状态	状态程度定义
经济	指电网具有坚强的网架结构、充足的有功无功电源支持、对负荷及其分布的变化具有很强的适应能力
正常	未运行在当前负荷水平下最经济的状态,且可能存在网架的薄弱环节或有功无功电源及其分布不合理的情况,在受到合理的预想事故扰动后都能满足约束条件
脆弱	电网中存在过负荷且持续时间在允许范围内、电压越限但未发生电压失稳、电压失稳的趋势或电力设备运行异常等
恶化	指电网的参数一般尚能符合运行约束条件,但存在失电负荷或供电孤岛等
极端	指电网中有故障发生、或有严重低电压、或有严重过负荷、或有过负荷持续时间超出允许范围

配电网健康状态评价的主要目的就是根据采集到的实时指标数据,判断系统状态,在状态评价结果的基础上,分别采取对应的自愈控制措施,实现配电网的自愈功能。

4 健康状态的综合评价方法

根据各类性质指标的信息确定智能配电网的健康状态,属于多指标综合评价。而模糊综合评价是在考虑多种因素的影响下,运用模糊数学工具对事物做出综合评价的方法^[17]。因此本文利用模糊评价方法对智能配电网的健康状态评价进行分析。

4.1 评价指标的处理

在模糊评价中,隶属度函数的确定至关重要,它反映了模糊集合中各元素隶属于某特定性质的程度^[18]。由于配电网中各评价指标的取值类型不同,隶属度函数也有所差异。例如PV曲线斜率、负荷的变化速率等指标是越小越优,属于成本型指标,而无功配置水平、电压安全稳定性等都是越大越优,属于效益型指标,其他指标的分类可参见表2。

表2 指标的评价标准
Tab.2 The evaluation standard of indexes

指标项目	评价标准		指标项目	评价标准	
	指标类型	取值范围		指标类型	取值范围
A ₁	中间型	0.5~0.6	C ₁	成本型	≤0.02
A ₂	效益型	≥0.8	C ₂	成本型	≤0.04
A ₃	中间型	0.4~0.5	C ₃	成本型	≤0.4
A ₄	效益型	≥0.3	C ₄	成本型	≤0.4
A ₅	效益型	≥0.4	D ₁	成本型	≤0.05
B ₁	成本型	≤1.2	D ₂	成本型	≤0.1
B ₂	成本型	≤8	D ₃	效益型	≥0.35
B ₃	效益型	≥0.9	E ₁	效益型	> 0.1
B ₄	中间型	0.5~0.667	E ₂	效益型	≥0.8
B ₅	效益型	≥0.9	E ₃	效益型	> 1.5
B ₆	效益型	≥0.8			

以常见的效益型指标隶属度函数为例,结合SDG的实际情况,借鉴文献[19]的方法,确定各指标隶属度函数表示为

$$\mu_1(x)=\begin{cases}1,&x\geq e;\\(x-d)/(e-d),&x\in(d,e);\\0,&x<d.\end{cases}$$
$$\mu_2(x)=\begin{cases}0,&x\geq e\text{或}x\leq c;\\(e-x)/(e-d),&x\in(d,e);\\(x-d)/(d-c),&x\in(c,d).\end{cases}$$
$$\vdots$$
$$\mu_5(x)=\begin{cases}1,&x< a;\\(x-d)/(e-d),&x\in(a,b);\\0,&x\geq b.\end{cases}$$

(9)

式中: a, e 表示被评价指标最优值和最差值,在指标值区间 (a, e) 的5等分点 b, c, d 分别作为5种状态的评估区间(采用等分区间确定隶属函数值对评估精度影响不大,且便于编程处理)。

在隶属度函数中,界限 a, b, c, d, e 的值和指标的评价标准有关。以电网运行标准及规范为基础,结合现场实际,拟定各指标的评价标准如表2所示。

结合表2中的评价标准,依据隶属度函数可求得各指标属于评判集的隶属度,设第 i 个指标属于第 j 个评价层的隶属程度为 r_{ij} ,据此可得各指标的单因素评价集 $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\}$,由各个单因素评估集为行向量可得到模糊评判矩阵 $R = [R_{ij}]$, $j = 1, \dots, n$,它描述了由各个单指标进行评估所得结果的集合。

4.2 多指标综合评价

模糊评判矩阵反映了由各个单指标参数而得到的评价结果,熵权法确定的权重则体现了这些指标在综合评估时所占的比重,将两者结合,可得智能配电网健康状态的综合评价:

$$H_j = \sum_{i=1}^m w_i R_{ij}, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

若 $H_r = \max(H_j)$ 是模糊综合结果 H 的最大元素,根据隶属度最大原则, H_r 所对应的状态可作为最终的评估结果。

4.3 验证分析

为了验证本文方法的可行性,以某地区配电网作为研究对象进行分析。以该地区配电网某一时段的检测数据为基础,采用本文方法对该时段的配电网运行状态进行评价分析。

假设该段配电网某时刻的检测参数为 $T_0 = [T_A, T_B, T_C, T_D, T_E]$,其中 T_A, T_B, T_C, T_D, T_E 分别为可靠性、安全性、优质性、经济性、环保性的检测数据向量。为便于说明,以该时刻安全性指标 T_B 为例,假设某一时刻检测计算所得的各项指标参数矩阵为 $[B_1 \ B_2 \ B_3 \ B_4 \ B_5 \ B_6] = [1.42 \ 8.54 \ 0.94 \ 0.473 \ 5 \ 0.893 \ 4 \ 0.723]$

采用式(9)所列隶属度函数进行判断,可得6项指标各自的单因素评价集,将其集合后得安全性指标的模糊评价矩阵为

$$R_B = \begin{bmatrix} 0 & 0.566 \ 1 & 0.433 \ 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0.877 \ 2 & 0.122 \ 8 & 0 & 0 \\ 0.966 \ 2 & 0.033 \ 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0.783 \ 3 & 0.216 \ 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0.853 \ 1 & 0.146 \ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 0.150 \ 0 & 0.850 \ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

采用同样方法可求得根据可靠性、经济性、优质性、环保性指标所得的模糊评价矩阵 R_A, R_C, R_D, R_E 。将其综合可得根据实时检测指标的模糊评价矩阵 $R = [R_A \ R_B \ R_C \ R_D \ R_E]^T_{(21 \times 5)}$ 。

假设该时刻前4个检测周期所得到的检测数据分别为 T_1, T_2, T_3, T_4 ,结合该时刻的检测数据 T_0 ,对其所构成的时间序列求熵得

$$\beta = [0.326 \ 6 \ 0.426 \ 3 \ 0.430 \ 2 \ 0.360 \ 5 \ 0.407 \ 1 \ 0.358 \ 0.412 \ 6 \ 0.426 \ 6 \ 0.429 \ 8 \ 0.329 \ 7 \ 0.351 \ 4 \ 0.363 \ 6 \ 0.291 \ 0.43 \ 0.325 \ 0.430 \ 4 \ 0.411 \ 7 \ 0.429 \ 3 \ 0.351 \ 4 \ 0.347 \ 6 \ 0.389 \ 3] \quad (12)$$

代入式(7)求得最后的权重向量为

$$w_H = [0.053 \ 0.027 \ 0.032 \ 7 \ 0.025 \ 3 \ 0.032 \ 7 \ 0.039 \ 3 \ 0.037 \ 0.029 \ 0.036 \ 0.052 \ 5 \ 0.057 \ 0.045 \ 7 \ 0.064 \ 9 \ 0.097 \ 5 \ 0.097 \ 4 \ 0.046 \ 7 \ 0.024 \ 7 \ 0.037 \ 2 \ 0.066 \ 8 \ 0.051 \ 7 \ 0.045 \ 9] \quad (13)$$

利用式(8)可求得最终的评估结果为

$$H = [0.536 \ 5 \ 0.335 \ 2 \ 0.156 \ 3 \ 0 \ 0] \quad (14)$$

与评价集合{经济,正常,脆弱,恶化,极端}比较,根据最大隶属度原则,可看出最终评价结果为经济运行状态。确定的可靠性、安全性、优质性、经济性、环保性指标的权重向量为 $[A \ B \ C \ D \ E] = [0.122 \ 7 \ 0.156 \ 5$

0.190 1 0.234 9 0.275 8]。

可采用相同方法对其他时段的检测数据进行处理,所得的指标权重相量及评价结果如表3所示。

表3 评价结果汇总

Tab.3 The summary of evaluation results

时刻	评价层权重[ABCDE]	最终评价结果H	状态
T_0	[0.122 7 0.146 5 0.190 1 0.264 9 0.275 8]	[0.536 5 0.335 2 0.156 3 0 0]	经济
P_0	[0.248 0 0.322 5 0.163 8 0.126 2 0.139 5]	[0.114 5 0.272 5 0.486 6 0.154 3 0]	脆弱
S_0	[0.380 2 0.403 5 0.103 8 0.075 3 0.037 2]	[0 0.074 3 0.156 3 0.534 9 0.234 5]	恶化

将评价所得的各类指标权重列于图2,从图中可以看出:不同状态下各指标的权重是不同的,在经济运行状态下,环保性与经济性指标在整个评估中所占的权重相对较高;当电网运行在脆弱状态时,可靠性与安全性指标所占的权重升高,而经济性和环保性指标的权重降低;在故障影响较大的恶化状态时,可靠性与安全性指标的权重则进一步提升,经济性及环保性指标的比例进一步降低。这符合电网运行不同阶段关注重点不同的实际情况。

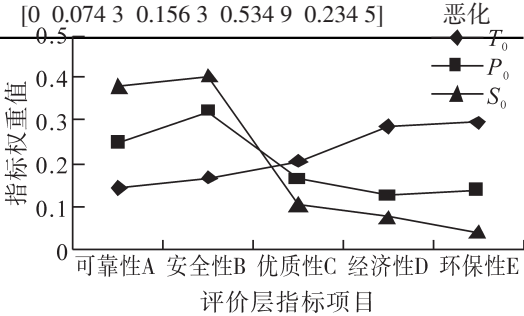


图2 T_0, P_0, S_0 时刻状态权重对比图

Fig. 2 The weight contrast figure at the time of T_0, P_0, S_0

5 结论

针对智能配电网的自愈控制,提出一种智能配电网健康状态的综合评价方法,评价结果可为智能电网的自愈控制提供决策依据。通过文中分析,得到以下结论:

- 1) 智能配电网同传统配电网存在较大区别,在建立评价指标时,需考虑智能配电网中清洁能源并网、电动汽车接入等对配电网状态的影响。
- 2) 当配电网处于不同运行状态时,不同指标的波动程度不同,熵权法可有效反映这种波动,并可实现指标权重的动态调整,从而为智能配电网健康状态的评价提供更为准确、客观的权重分配方法。
- 3) 通过模糊综合评价可得到较为全面的配电网健康状态评价结果,该评价结果可为智能配电网基于状态转移的自愈控制方法提供基础。

参考文献:

[1] 李林哲,王勋,詹骥文. 一种通过贡献矩阵评估电力系统脆弱性的方法[J]. 华东交通大学学报,2014,31(2):123-130.
[2] 郭志忠. 电网自愈控制方案[J]. 电力系统自动化, 2005,29(10):85-91.
[3] 陈星莺,顾欣欣,余昆,等. 城市电网自愈控制体系结构[J]. 电力系统自动化,2009,33(24):38-42.
[4] 贾东梨,孟晓丽,宋晓辉. 智能配电网自愈控制技术体系框架研究[J]. 电网与清洁能源,2011,27(2):14-18
[5] 余昆,陈星莺,曹一家. 城市电网自愈控制的分层递阶体系结构[J]. 电网技术,2012,36(10):165-171.
[6] 万秋兰. 大电网实现自愈的理论研究方向[J].电力系统自动化,2009,33(17):29-32
[7] 孔涛,程浩忠,李钢,等. 配电网规划研究综述[J]. 电网技术,2009,33(19):92-99.
[8] 张东霞,姚良忠,马文媛. 中外智能电网发展战略[J]. 中国电机工程学报,2013,33(31):1-15.
[9] 孙元章,程林,刘海涛. 基于实时运行状态的电力系统运行可靠性评估[J]. 电网技术,2005,29(15):6-12.
[10] 吴际舜. 电力系统静态安全分析[M]. 上海: 上海交大出版社, 1985:102-107.

- [11] 栗秋华,周林,张凤,等. 基于模糊理论和层次分析法的电力系统电压态势预警等级综合评估[J]. 电网技术,2008,32(4):40-45.
- [12] 王睿,方洁,张可,等. 基于熵权和AHP的电能质量模糊综合评估[J]. 电测与仪表,2007,44(11):21-25.
- [13] 张勇军,翟伟芳,林建熙. 分布式发电并网的网损影响评价指标研究[J]. 继电器,2011,39(13):134-137.
- [14] 方欢欢. 智能配电网经济性评估方法研究[D]. 上海:上海交通大学,2012.
- [15] 乔巍巍. 数控系统可靠性建模及熵权模糊综合评价[D]. 长春:吉林大学,2008.
- [16] GHOLAMHOSSEIN YARI, ALIREZA CHAJI. Determination of ordered weighted averaging operator weights based on the m-entropy measures[J]. International Journal of Intelligent Systems,2012,27(12):1020-1033.
- [17] 林济铿,李童飞,赵子明,等. 基于熵权模糊综合评价模型的电力系统黑启动方案评估[J]. 电网技术,2012,36(2):115-120.
- [18] 陈静,李华强,郑武,等. 基于全局模糊指标的电力系统在线安全评估[J]. 继电器,2011,39(18):93-98.
- [19] 吴姜,蔡泽祥,胡春潮,等. 基于模糊正态分布隶属函数的继电保护装置状态评价[J]. 继电器,2012,40(5):48-52.

Health Evaluation of Smart Distribution Grid for Self-healing

Cheng Hongbo¹, Wu Siyu², Zhan Jiwen¹, Wang Xun¹, Li Linzhe¹

(1.School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2.Institute of Scientific and Technical Information of Jiangxi Province, Nanchang 330000, China)

Abstract: Self-healing is one of the remarkable features of smart distribution grids. Making real-time assessment of distribution grid's health status based on monitoring data is the premise for implementing state transition of the distribution grid in order to achieve self-healing control. By analyzing the characteristics of the smart distribution grid, this paper puts forward intelligent distribution grid in terms of health status evaluation index. With the index weight and the membership degree of testing data found out by the use of entropy weight method and fuzzy mathematics theory, a comprehensive evaluation method for the health status of SDG is proposed. It shows that the proposed approach can be used to accurately evaluate the real-time state of the SDG via instance analysis according to large amounts of testing data, which may provide reference for the state transition of the distribution grid.

Key words: smart distribution network; self-healing; health state; assessment; fuzzy; entropy weight

(责任编辑 刘棉玲)