

基于粗糙集理论的配电网故障风险评估

为了避免或减少由于配电网故障引起的停电损失,提出了一种基于粗糙集理论的配电网故障风险评估方法。根据配电网历史故障风险情况和专家经验,将各种故障时的全部可预知风险评估指标和相应的风险等级数据组成一个原始数据表,利用粗糙集理论的属性约简和属性值约简功能对该数据表约简,得到最小规则集,即为最终的配电网故障风险评估模型。实例分析结果表明,该方法能够准确地在线预测配电网故障风险等级,对于提高供电可靠性和电能质量具有重要作用。

陈 彬 陈敏维/福建省电力有限公司电力科学研究院
庞清乐/山东工商学院



陈 彬/工程师

关键词/Keywords

配电网·
故障风险评估·
粗糙集理论·

随着智能电网的发展和用户对供电质量和供电可靠性要求的提高,建立完善的电力系统应急管理系统越来越重要^[1]。配电网故障风险评估是根据配电网发生的各种突发事件和电气设备工作状态预测配电网发生故障的概率,根据发生故障的类型预测发生故障的风险。

电力系统风险评估一直是电力领域研究的热点问题,主要包括:输电线路的风险评估^[2]、电力系统备用风险评估^[3]、发输电组合系统风险评估^[4]、风电接入电网风险评估^[5]、电网规划风险评估^[6]、变压器风险评估^[7]、电网冰灾风险评估^[8]和电力二次系统风险评估^[9]等。这些研究为配电网故障风险评估方法和风险评估指标选择提供了有力的理论指导,相继出现了一些配电网故障风险评估方法^[10-13]。但是这些评估方法的风险指标要么指标不全面,要么存在一些不能量化或预先未知的指标,导致风险评估结果无效,没有实际意义。粗糙集理论是一种刻画不

完整和不确定性数据的数学工具,它通过对数据进行分析、近似分类以及推理数据间的关系,从中发现隐含的知识,揭示其潜在的规律,从而在模式识别、机器学习、决策支持、过程控制和预测建模等领域得到极其广泛的应用,非常适用于风险评估系统。因此,在现有配电网故障风险评估方法基础上,设计了一种基于粗糙集理论的配电网故障风险评估方法。

配电网故障风险评估系统结构

1. 配电网故障风险评估指标体系

由于在故障风险评估系统中,风险评估指标越全面,包含的故障信息越多,则故障风险评估的结果就越可靠。因此,在借鉴原有电网风险评估指标体系的构建方法基础上,配电网故障风险评估指标选择如下:天气指标(风、雨、雾、雪、雷电、覆冰和温度)、电气设备运行状态指标(设备老化程度、负载率、负荷等级、计算负荷和转供能力)、线路类型指标(架空线路所占比例)、用户电力专业技术水平指标和不可预测指标(交通事故、非法施工和盗窃电气设备)等。由于不可预测指标无法预测,不能参与故障风险评估,所以不考虑这些指标。

2. 配电网故障风险评估系统结构

配电网故障风险评估系统如图1所示。从配电网历史故障数据和专家经验数据中提取配电网故障风险评估指标数据。将这些指标作为条件属性,将每组数据对应的风险等级作为决策属性。利

国家电网公司科技项目(技术031[2012]19)。

用粗糙集理论进行属性约简和属性值约简,得到配电网故障风险评估模型。将获取的在线指标数据输入到该模型,即可得到在当前情况下配电网的故障风险大小。

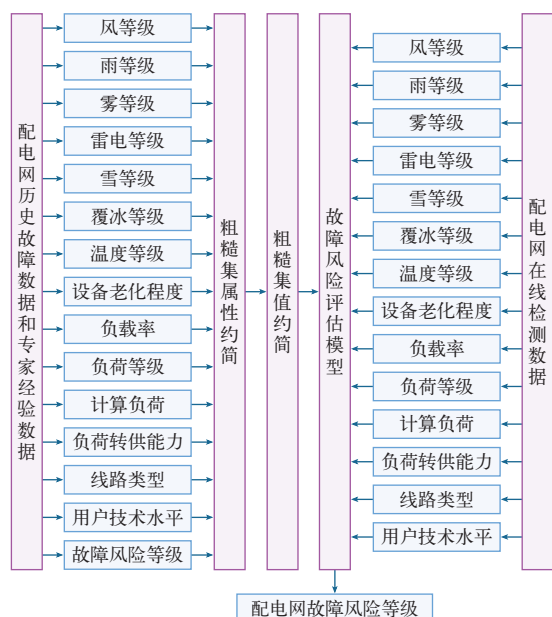


图1 配电网故障风险评估系统

配电网故障风险评估原理

1. 配电网故障风险评估信息系统构建

假设基于粗糙集理论的配电网故障风险评估信息系统为 $K=(U, A)$,论域 U 为配电网各线路的集合, $A=C \cup D$ 为属性集,条件属性集 C 为配电网历史故障数据或专家经验组成的风险指标数据集, D 为配电网历史故障数据或专家经验组成线路故障风险评估结果集合, V_a 为每个属性 $a \in A$ 的属性值域。

定义1: 给定配电网故障风险评估信息系统 $K=(U, A)$, $A=C \cup D$,条件属性集定义为 $C=\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n\}$,其中 a 为风等级, b 为雨等级, c 为雾等级, d 为雷电等级, e 为雪等级, f 为覆冰等级, g 为温度等级, h 为电气设备老化程度, i 为负载率, j 为负荷等级, k 为计算负荷, l 为负荷转供能力, m 为线路类型, n 为用户电力专业技术水平,决策属性集定义为 $D=\{p\}$,其中 p 为线路的故障风险评估结果。

定义2: 给定配电网故障风险评估信息系统 $K=$

(U, A) ,条件属性集 $C=\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n\}$,条件属性 a 的值域定义为 $V_a=\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$

(1)

式中,1,2,...,12分别为风力等级。

条件属性 b 的值域定义为

$V_b=\{\text{无雨, 小雨, 中雨, 大雨, 暴雨, 大暴雨, 特大暴雨}\}$

(2)

条件属性 c 的值域定义为

$V_c=\{\text{无雾, 轻雾, 雾, 大雾, 浓雾, 强浓雾}\}$

(3)

条件属性 d 的值域定义为

$V_d=\{\text{无雷电, 弱雷电, 中等雷电, 强雷电, 特强雷电}\}$

(4)

条件属性 e 的值域定义为

$V_e=\{\text{无雪, 小雪, 中雪, 大雪, 暴雪}\}$

(5)

条件属性 f 的值域定义为

$V_f=\{\text{无覆冰, 轻覆冰, 覆冰, 重覆冰, 严重覆冰}\}$

(6)

条件属性 g 的值域定义为

$V_g=\{v_g | -40 < v_g < 40\}$

(7)

条件属性 h 的值域定义为

$V_h=\left\{v_h \left| v_h = \frac{t_R}{t_L} \right. \right\}$

(8)

式中, t_R 为电气设备的运行时间; t_L 为电气设备的寿命。

条件属性 i 的值域定义为

$V_i=\left\{v_i \left| v_i = \frac{I_a}{I_N} \right. \right\}$

(9)

式中, I_a 为电气设备的实际电流; I_N 为电气设备的额定电流。

条件属性 j 的值域定义为

$V_j=\{\text{一级负荷, 二级负荷, 三级负荷}\}$

(10)

条件属性 k 的值域定义为

$V_k=\left\{v_k \left| v_k = \frac{P_c}{P_\Sigma} \right. \right\}$

(11)

式中, P_c 为线路的计算负荷; P_Σ 为配电网总的计算负荷。

条件属性 l 的值域定义为

$V_l=\{v_l | 0 < v_l < 100\%\}$

(12)

条件属性 m 为线路中架空线路的比例,其值域定义为

$$V_m = \{v_m | 0 < v_m < 100\%\} \quad (13)$$

条件属性 n 的值域定义为

$$V_n = \{\text{不懂, 业余, 专业, 非常专业}\} \quad (14)$$

定义3: 给定配电网故障风险评估信息系统 $K=(U, A)$, 决策属性集 $D=\{p\}$, 决策属性的值域定义为

$$V_p = \{\text{无风险, 低风险, 一般风险, 高风险, 较高风险}\} \quad (15)$$

规则1: 给定配电网故障风险评估信息系统 $K=(U, A)$, 条件属性集 $C=\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n\}$, 决策属性集 $D=\{p\}$ 。根据各故障风险评估数据分布的特点, 利用等距离划分的离散化方法, 规定各条件属性和决策属性的编码方式如下。

a : 1—0~2, 2—3~5, 3—6~8, 4—9~11, 5—>12。

b : 1—无雨, 2—小雨, 3—中雨, 4—大雨, 5—暴雨, 6—大暴雨, 7—特大暴雨。

c : 1—无雾, 2—轻雾, 3—雾, 4—大雾, 5—浓雾, 6—强浓雾。

d : 1—无雷电, 2—弱雷电, 3—中等雷电, 4—强雷电, 5—特强雷电。

e : 1—无雪, 2—小雪, 3—中雪, 4—大雪, 5—暴雪。

f : 1—无覆冰, 2—轻覆冰, 3—覆冰, 4—重覆冰, 5—严重覆冰。

g : 1—-40~-30, 2—-30~-20, 3—-20~-10, 4—-10~0, 5—0~10, 6—10~20, 7—20~30, 8—30~40。

h : 1—0~0.2, 2—0.2~0.4, 3—0.4~0.6, 4—0.6~0.8, 5—0.8~1。

i : 1—0~0.2, 2—0.2~0.4, 3—0.4~0.6, 4—0.6~0.8, 5—0.8~1。

j : 1—一级负荷, 2—二级负荷, 3—三级负荷。

k : 1—0~0.2, 2—0.2~0.4, 3—0.4~0.6, 4—0.6~0.8, 5—0.8~1。

l : 1—0~0.2, 2—0.2~0.4, 3—0.4~0.6,

4—0.6~0.8, 5—0.8~1。

m : 1—0~0.2, 2—0.2~0.4, 3—0.4~0.6, 4—0.6~0.8, 5—0.8~1。

n : 1—不懂, 2—业余, 3—专业, 4—非常专业。

p : 1—无风险, 2—低风险, 3—一般风险, 4—高风险, 5—较高风险。

2. 基于粗糙集理论的配电网故障风险评估算法

配电网故障风险评估算法过程如图2所示。首先, 提取配电网故障风险评估指标, 根据定义2、定义3将其转化成故障风险评估系统的属性值, 构建故障风险评估系统; 然后, 根据规则1将条件属性和决策属性离散化, 构建信息系统的决策表; 再利用粗糙集理论删除决策表中的不相容数据, 并对决策表中的条件属性进行约简, 删除冗余属性, 得到最小条件属性集; 最后, 对决策表进行属性值约简, 得到最小规则集, 即为配电网故障风险评估模型。将在线检测的配电网故障风险评估指标数据输入到该模型, 即可在线得到配电网故障风险评估结果。将新的故障风险评估指标数据作为历史数据, 利用该数据定期更新原有的配电网故障风险评估模型。

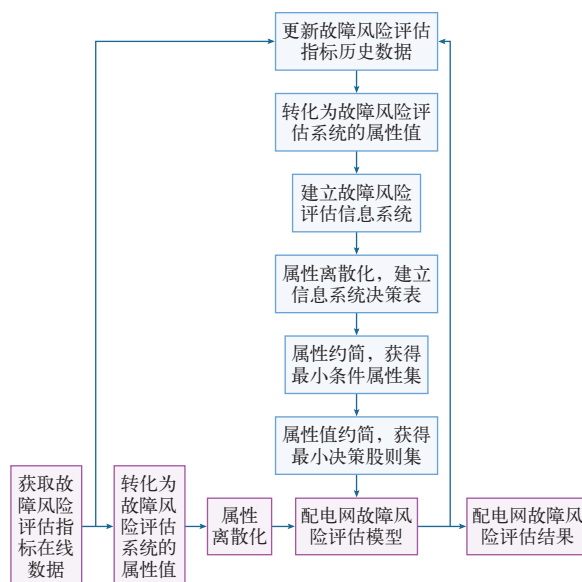


图2 故障风险评估算法流程图

实例分析

下面以某配电网为例, 进一步说明配电网故

障风险评估方法。根据定义2、定义3获取的配电网故障风险评估指标数据如表1所示,其中,电气设备寿命为30年,配电网总的计算负荷为100 MV·A。根据规则1将其离散化,得到配电网故障评估系统决策表,如表2所示。首先,删去不相容信息,然后,利用粗糙集理论进行属性约简,消去条件属性—用户水平,得到最小条件属性集 $\{a, b, c,$

$d, e, f, g, h, i, j, k, l, m\}$ 。最后,利用粗糙集理论进行属性值约简,得到最小规则集为

$$\begin{cases} a_2b_1c_1d_1e_1f_1g_1h_1i_1j_1k_1l_1m_1 \cup \dots \rightarrow p_1 \\ b_4d_4m_1 \cup b_4d_2i_3m_3 \cup \dots \rightarrow p_3 \\ d_4j_2l_3m_1 \cup \dots \rightarrow p_4 \\ a_3b_3l_4m_5 \cup \dots \rightarrow p_5 \\ \dots \end{cases} \quad (16)$$

表1 故障风险评估指标数据表

序号	风等级	雨等级	雾等级	雷电等级	雪等级	覆冰等级	温度等级	电气设备老化程度	负载率	负荷等级	计算负荷/MV·A	转供能力	线路类型	用户水平	风险等级
1	3	无雨	无雾	无雷电	无雪	无覆冰	25	运行5年	0.4	三级负荷	2 MV·A	0.5	0.2	专业	无风险
2	5	大雨	无雾	弱雷电	无雪	无覆冰	28	运行5年	0.6	二级负荷	3 MV·A	0.3	0.5	业余	一般风险
3	3	无雨	无雾	强雷电	无雪	无覆冰	25	运行5年	0.4	二级负荷	2 MV·A	0.5	0.2	业余	高风险
4	8	大雨	无雾	无雷电	无雪	无覆冰	30	运行7年	0.7	一级负荷	3 MV·A	0.1	1	专业	较高风险
5	6	大雨	无雾	强雷电	无雪	无覆冰	20	运行2年	0.3	二级负荷	2 MV·A	0.5	0	业余	一般风险
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

表2 故障风险评估系统决策表

序号	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	p
1	2	1	1	1	1	1	7	1	2	1	1	3	1	3	1
2	2	4	1	2	1	1	7	1	3	2	1	2	3	2	3
3	2	1	1	4	1	1	7	1	2	2	1	3	1	2	4
4	3	3	1	1	1	1	7	2	4	3	1	1	5	3	5
5	3	4	1	4	1	1	7	1	2	2	1	3	1	2	3
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

该规则即为配电网故障风险评估模型,利用该模型即可实现该配电网故障风险评估。假如在线检测的数据为:大雨、强雷电、无雪、无覆冰、12℃、设备运行为6年、三级负荷、计算负荷为2.2 MV·A、转供能力为10%和线路全部为地下电缆,风等级和雾等级指标缺失。在信息不完备的情况下,则根据规则 $b_4d_4m_1 \rightarrow p_3$,即可得到此时该配电网的故障风险等级为一般风险,故障风险评估结果正确。验证结果表明,在某些评估指标不完备的情况,该方法仍能正确地实现风险评估。

结束语

在充分考虑各种可预知配电网故障风险评估指标的基础上,提出了基于粗糙集理论的配电网故障风险评估模型,通过实例分析验证了该模型

的有效性。该模型具有以下特点。

- 1) 该模型充分利用了各种故障风险评估指标,使得风险评估结果更加可靠。
- 2) 该模型支持不完备信息的故障风险评估,在信息不完备的情况下仍能获得正确的风险评估结果。
- 3) 该模型是一个动态模型,根据新的在线故障风险评估指标和风险等级数据,定期更新模型。
- 4) 该模型的风险评估效果依赖于大量的配电网历史数据或专家经验数据,如何获取更多的配电网历史数据或专家经验数据需要进行进一步研究。

参考文献

- [1] 李锐,陈颖,梅生伟,等.基于停电风险评估的城市配电网应急预案方法[J].电力系统自动化,2010,34(16):19-23,63.
- [2] 吴耀武,娄素华,余永泉,等.电力市场环境下输电线路过载风险评估[J].电工技术学报,2012,27(2):198-203.
- [3] 何剑,孙华东,刘明松.基于扩展状态空间分割法的含风电场电力系统运行备用风险评估[J].电网技术,2012,36(3):257-263.

- [4] 丁明, 周竞, 汪兴强. 发输电互联等值系统风险评估的解析模型 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(10): 111-117.
- [5] 苏峰, 殷战稳, 任玲玉, 等. 风电在线风险评估系统的开发及应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(16): 103-135.
- [6] 孙强, 张义斌, 韩冬, 等. 多因素、多维度的智能电网风险评估 [J]. 电网技术, 2012, 36(9): 51-55.
- [7] 陈立, 郭丽娟, 邓雨荣. 基于状态和风险评估的老旧变压器安全经济性管理分析 [J]. 高压电器, 2012, 48(2): 81-85.
- [8] 潘斌, 张勇军, 黄慧. 多因子电网冰灾风险评估建模 [J]. 电网技术, 2012, 36(5): 102-106.
- [9] 郭创新, 陆海波, 俞斌, 等. 电力二次系统安全风险
- 风险评估研究综述 [J]. 电网技术, 2013, 37(1): 112-118.
- [10] 汤昶烽, 卫志农, 李志杰, 等. 基于因子分析和支持向量机的电网故障风险评估 [J]. 电网技术, 2013, 37(4): 1039-1044.
- [11] 范云滩, 刘剑, 李俊娥, 等. 基于符号动力学的配电网结构风险评估 [J]. 电网技术, 2013, 37(5): 1244-1251.
- [12] 刘若溪, 张建华, 吴迪. 基于风险理论的配电网静态安全性评估指标研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 89-95.
- [13] 武宏波, 胡静. 改进模糊运算方法及在电力系统风险评估的应用 [J]. 中国电力, 2012, 45(5): 52-56.

(收稿日期: 2014-03-27) EA

色彩丰富 凸显主题

2015《电气应用》以鲜明色彩和新颖版式呈现精彩内容, 力求赏心悦目。

栏目设置 独具风格

坚持继承与开拓并举, 以丰富内涵充实经典栏目, 持续深化面对面、专家访谈、EA经理人等栏目, 密切关注电气技术的发展和应用。

专家点评 精辟深刻

每期都将围绕一个热点话题, 隆重推出一场专题讨论的盛宴, 共邀知名专家、产品用户和生产厂家汇聚一堂, 针对焦点问题作出评析。

行业案例 生动丰富

关注电力、建筑、石化和冶金等电气行业应用, 以典型深刻的案例分析、方案设计构建技术互动的空间, 促进应用经验交流。

国内邮发代号: 82-341 国外发行代号: M1409

每期定价: 15.00元 全年定价: 360.00元

全新改版

电气应用

· 电气应用 盛情呈现 ·

2015