基于层次分析法的配电通信网运行风险量化评估

提出了一种配电通信网风险量化评估模型，通过层次分析法建立了基于并计算出了取舍权数。从基于设备状态、非正常运行状态和管理状态给出相关量化参数，通过配电通信网的实例验证了模型。该风险评估方法对配电通信网的规划建设、运行维护和风险评估具有较好的指导意义。

田丹[1] 刘蒙[2] 张倩宜[1]/1. 国网天津市电力公司信息通信公司 2. 国网天津市电力公司城南供电分公司

田丹/工程师

关键词/Keywords
配电通信网·
层次分析法·
风险·
评估·

0 引言

电力系统通信网电力系统的重要支撑[1]，主要包括骨干通信网和配电接入通信网两部分。

目前，对电力通信网风险评估的研究方法主要包括基于可靠性理论的方法、基于模糊理论的方法和基于概率论的方法等。这些方法均为针对骨干通信网的研究分析，目前尚未发现针对配电通信网络进行评估分析和研究。

本文主要使用概率论的分析方法，结合配电通信网承载的业务以及采用的通信方式，对风险时的电网业务数量和重要性进行定量分析和评估。根据评估结果合理优化配电通信网组网结构，加强相关设备、光缆的维护管理，提升配电通信网的安全性和可靠性[3-4]。

1 配电通信网风险评估

文献[3]将风险定义为$R(x)=f(p, q)$。p函数中x表示风险，p表示不确定事件发生的概率，q表示事件发生的后果。

配电通信网运行风险评估需要分析各种风险因素的发生概率及其发生后对配电通信网承载的各类业务的影响程度进行综合评估并确定风险的等级。

定义配电通信网运行风险量化函数为

$$R_D=\sum_i A_i\times P_i \quad (1)$$

式中，A为后果量化值；P为事件发生概率，各个量化值不代表明确的含义，仅为后果或概率的量化表征。

对配电通信网的运行风险评估，根据评估对象可分为以下几种：①基于设备状态的风险，指配电通信网在长时期运行存在的风险，可反应配电通信网的安全性和可靠性；②基于非正常运行状态的风险评估，是指配电通信网在检修、方式调整、设备投运和故障等一定时期内非正常运行方式下存在的风险；③基于管理状态的风险评估，是指各种管理指标对配电通信网的影响。根据评估值与后果严重性，可将评估风险值定位极高风险、高风险、中风险、低风险和可接受风险5种[8,9]。配电通信网时间与风险量化值的对应见表1。

表1 风险量化值

风险等级	风险量化值	可能的最严重的后果
极高风险	$R_D\geqslant 50$	变电站通信业务中断，接入该变电站全部配电站点通信业务全部中断，且时间超过30 min
高风险	$15\leqslant R_D<50$	“三遥”枢纽配电站实时控制业务通道全部中断超过30 min，且影响接入该枢纽站的站点通信业务数量超过5个
中风险	$5\leqslant R_D<15$	“三遥”枢纽配电站通信传输通道“手拉手”保护环网开环运行，且时间超过24 h
低风险	$2\leqslant R_D<5$	非“三遥”配电站业务通信通道全部中断超过24 h
可接受风险	$R_D<2$	业务中断但不影响电网安全稳定运行

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 配电通信网风险评估指标体系

层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP），是20世纪70年代初由美国运筹学家匹茨堡大学教授T.L.萨蒂等人提出的一种层次权重决策分析方法[1]。层次分析法将总是与决策有关的元素分解成目标、准则和方案等几个特定层次，在这几个特定层次上进行定性和定量分析的决策方法。

2.1 配电通信网风险层次结构和安全风险指标体系

配电通信网是一个复杂的信息系统，综合考虑配电通信网的网络结构、多种通信方式、各类设备及配电通信系统的运行、管理及人为安全等因素，可将配电通信网安全风险分为三个层次并建立三个层级的指标见表2[8]。

表2 配电通信网安全风险指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
配电通信网安全评估指标K	通信设备指标 $a=0.379\ 6$	光缆故障次数$a_1=0.072\ 9$
		EPON设备故障次数$a_2=0.087\ 7$
		中压载波设备故障次数$a_3=0.181\ 5$
		无线设备故障次数$a_4=0.120\ 3$
		光收发器故障次数$a_5=0.138\ 5$
		线缆故障次数$a_6=0.169\ 9$
		协议转换器故障次数$a_7=0.129\ 8$
	配电站安全指标 $b=0.127\ 9$	配电通信站达标率$b_1=0.398\ 8$
		配电通信站防雷合格率$b_2=0.447\ 8$
		配电通信站接地合格率$b_3=0.179\ 2$
	通信电源指标 $c=0.139\ 9$	超级电源故障次数$c_1=0.539\ 7$
		供电线路故障次数$c_2=0.163\ 5$
	运行管理指标 $d=0.251\ 2$	设备检修计划执行率$d_1=0.371\ 1$
		通信设备测试完备率$d_2=0.093\ 1$
		备品备件完备率$d_3=0.167\ 9$
		技术资料完备率$d_4=0.111\ 9$
		管理规程完备率$d_5=0.099\ 3$
	人为安全指标 $e=0.134\ 5$	通信专业培训次数$e_1=0.478\ 2$
		通信专业人员配备$e_2=0.235\ 8$
		通信专业人员和谐程度$e_3=0.221\ 9$
		通信专业人员劳动薪酬$e=0.047\ 8$

2.2 指标的筛选及赋权值

指标的评估指标过多会导致权重减小，造成评估结果的失真，这需要对评估指标体系进行合理筛选，可采用权数判断法。

设评价指标体系$F=\{f_1, f_2, \cdots f_n\}$，设权数集$\lambda=\{\lambda_1, \lambda_2, \cdots \lambda_n\}$，其中$\lambda_i \in [0,1]$（$i=1, 2, \cdots n$）。

设取舍权数为λ_{ch}，$\lambda_{ch} \in [0,1]$，当$\lambda_i \leqslant \lambda_{ch}$时，筛选掉指标$f_i$。

运用层次分析法对指标体系进行分析，并进行量化，确定每项指标的权重，并选取取舍权数$\lambda_{ch}=0.05$[6]，筛选后的指标及权值见表2。

2.3 风险后果量化值

针对配电通信网所承载的业务种类，结合配电通信网的故障原因，运维特点，配电通信网发生风险的后果严重程度主要由配网光缆维护难度、承载业务、配电站点是否为枢纽站、是否主从载波站点、是否无线接入枢纽站点、故障时长等因素决定，现设定各项参数如下。

风险后果量化值A计算公式如下[9]

$$A=\left(\sum_{i,j} K_i N_j\right)\varphi$$

式中，N_1为风险发生时中断的“三遥”自动化业务；N_2为风险发生时的非“三遥”自动化业务；N_3为风险发生时的用电信息采集业务；N_4为风险发生时中断的“三遥”自动化业务；K为各类风险指标的权重，通过层次分析法计算得出，即

$$K=(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5)=(a, b, c, d, e)$$

根据具体评估对象，可能性量化值的计算方以P表示每个风险因素发生的可能性，当配电通信网中存在i个风险因素时，整个配电通信网风险的可能性量化值为

$$P=\prod_i P_i$$

3 风险评估量化参数

3.1 基于设备状态的风险评估

基于设备状态的风险评估主要对由于EPON等通信设备、配网光缆长期缺陷、“手拉手”结构不完善、通信网络设计不合理、等因素引发的在未来一段时间长时间存在的隐患进行风险评估。可细分为支线单光缆、光传输设备、EPON设备、工业以太网设备、主载波设备、从载波设备、无线设备、工程建设影响等方面的风险评估。基于设备状态的风险评估的可能性量化取值见表3。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表3 基于设备状态的风险评估

类型	风险因素	风险值1	风险值2	风险值3	风险值4	风险值5
通信方式因素	配电站因素P_1	中压载波 0.1	手拉手光缆 0.5	支线光缆 1	工业以太网 1	无线 1.5
	运行年限因素P_2	$T\leqslant1$ 1	$2<T\leqslant5$ 1.5	$5<T\leqslant10$ 2	$10<T\leqslant20$ 3	$T>20$ 5
	故障统计因素P_3	上一年度中断次数 1＋中断次数/5	1＋中断次数/10	1＋中断次数/15	1＋中断次数/15	1＋中断次数/20
设备因素	设备故障因素P_1	上一年度设备全网缺陷率 1＋全网缺陷率				
	故障统计因素P_2	上一年度该设备影响业务缺陷次数 1＋缺陷次数/10				
网络因素	环网规模P_1	$N\leqslant10$ 0.8	$11<N\leqslant30$ 1	$30<N\leqslant50$ 1.5	$50<N\leqslant100$ 2.5	$N>100$ 3.5
	故障统计因素P_2	上一年度网络“手拉手”开环次数 1＋全网开环次数/10				
设备缺陷因素	组网光缆因素P_3	$N=0$ 0.8	$N=1$ 1	$N=2$ 1.5	$N=3$ 2	$N>4$ 3
	持续时间因素P_1	$T\leqslant2$ 1	$2<T\leqslant6$ 1.5	$T>6$ 2	— —	— —
	站点数量因素P_2	10 0.8	11～30 1	30～50 1.5	50～100 2.5	100 3.5
	故障统计因素P_3	上一年度该设备影响业务缺陷次数 1＋缺陷次数/10				

3.2 基于非正常运行状态的风险评估

基于非正常运行状态的风险评估主要对配电通信网处于设备检修、调试、新设备投运和设备状态异常等状态下的风险进行评估。改评估主要表征配电通信网处于非正常运行状态下的健壮程度。基于非正常运行状态的风险评估可能性量化值取值见表4。

表4 基于非正常运行状态的风险评估

类型	风险因素	风险值1	风险值2	风险值3	风险值4	风险值5
通信方式因素	设备状态因素P_1	无缺陷 1	一般缺陷 1.5	重大缺陷 2	紧急缺陷 3	— —
	检修时长因素P_2	$T\leqslant2$ 0.8	$2<T\leqslant8$ 1	$8<T\leqslant16$ 1.2	$16<T\leqslant24$ 1.5	$T>24$ 2
	故障统计因素P_3	上一年度网络“手拉手”开环次数 1+全网开环次数/10				
设备缺陷风险因素	设备故障因素P_1	$T\leqslant8$ 1	$8<T\leqslant16$ 1.2	$16<T\leqslant24$ 1.5	$T>24$ 2	— —
	设备缺陷因素P_2	一般缺陷 1.5	重大缺陷 2	紧急缺陷 3	— —	— —

3.3 基于管理状态的风险评估

设备运行指标、运行管理指标、专业人员指标是通信网风险评估中常常被忽略的因素。现在国家电网公司越来越强调管理和人的因素在电网运行中的风险控制，因此，本文将以上因素归类为基于管理状态的风险评估，评估量化值见表5。

4 风险评估实例

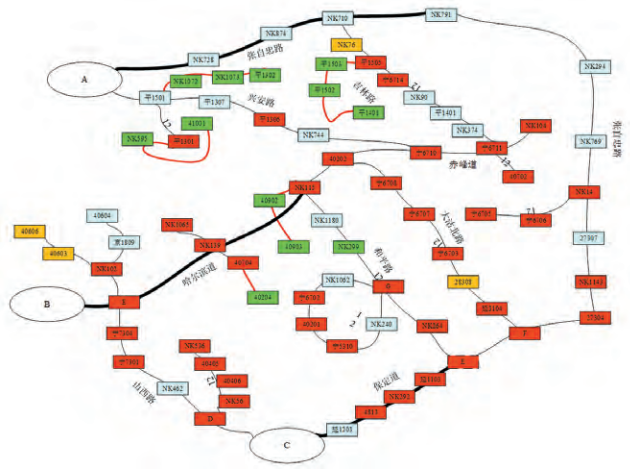
以国网天津市电力公司某配电自动化区域配电通信网为例，如下图所示。该通信网含有1个220 kV变电站、2个35 kV变电站、12个枢纽配电站和65个配电站（EPON站点48个、载波站点12个、无线站点6个）。该通信网为典型的多种通信方式组网的配电通信网络。即以光通信网络为主，中压载波

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表5 基于管理状态的风险评估

类型	风险因素	风险值1	风险值2	风险值3	风险值4	风险值5
安全管理因素	配电站达标	$N=100\%$	$50\%\leqslant N<100\%$	$20\%\leqslant N<50\%$	$N<20\%$	—
	因素P_1	1	1.5	2	3	—
	接地合格	$N=100\%$	$50\%\leqslant N<100\%$	$20\%\leqslant N<50\%$	$N<20\%$	—
	因素P_2	1	1.5	2	3	—
人为因素	专业培训次数	$N\geqslant 10$	$5\leqslant N<10$	$2\leqslant N<5$	$0<N<2$	$N=0$
	因素P_1	1	1.5	2	2.5	3
运行管理因素	备品备件完备	$N=100\%$	$50\%\leqslant N<100\%$	$20\%\leqslant N<50\%$	$N<20\%$	—
	因素P_1	1	1.5	2	3	—
	管理规程完备	$N=100\%$	$50\%\leqslant N<100\%$	$20\%\leqslant N<50\%$	$N<20\%$	—
	因素P_2	1	1.5	2	3	—

和无线为辅延伸的配电通信网，光通信网络通过变电站形成“手拉手”环网。共计有76条“三遥”业务，110条非实时性业务。



图

分别对60条支线光缆、12个枢纽配电设备和5台中压载波站点进行风险评估，非正常运行状态、管理指标等均以该地区配电网实际情况计算。

以B、E间光缆中断为例，中断“三遥”电路4条，非“三遥”自动化电路15条，用电信息采集业务10条，后果量化值为$A=45$；该光缆运行约3年，上一年度发生故障4次，可能性$P=1.4$，风险量化值$R_D=AP=6.3$，属于中风险。即手拉手保护环网开环运行，符合实际情况。

5 结束语

本文提出了一种配电通信网风险量化评估模型，分别给出了基于设备状态非运行状态、管理状态的风险评估，通过天津市电力公司某区域内的配电通信网验证，符合实际情况。该方法对今后智能配电网的规划建设、运行维护和风险评估具有很好的指导意义。

参考文献

[1] 孙逸群．电力通信网安全评估指标体系的研究[D]. 保定：华北电力大学，2008.

[2] 罗雪军，高强，张鑫林. 一种SSE-CMM的电力通信系统风险度算法分析[J]. 电力系统通信，2005(12)：11-13.

[3] ITU-T Recommendation X.805. Security architecture for systems providing End-to-End communications[S]. 2003.

[4] 张学渊，梁雄健. 关于通信网可靠性的研究方法[J]. 通信学报，1997，18(4)：54-58.

[5] 毛得华. 评价指标体系分析及其权重系数的确定[J]. 系统工程，1991，9(1)：20-25.

[6] 李欣然，刘杨华，朱湘有，等. 高压配电网建设规模的评估指标体系及其应用研究[J]. 电机工程学报，2006，26(17)：18-24.

[7] 李随成，陈敬东，赵海刚. 定性决策指标体系评价研究[J]. 系统工程理论与实践，2001(9)：22-28.

[8] 高会生，冯力娜. 基于相容粗糙－模糊集的电力通信网风险评估[J]. 计算机工程与应用，2010，46(12)：106-108.

[9] 张弋，田之俊，罗进发. 电力光纤通信网运行风险量化评估[J]. 电力信息与通信技术，2013(8)：31-35.

（收稿日期：2015－05－26）EA

作者简介

田丹（1983-），女，硕士研究生，工程师，主要研究方向为电力通信传输网、通信网安全性评估。

刘蒙（1982-），男，硕士研究生，工程师，主要研究方向为配电通信网、通信网安全性评估。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net