

配电自动化二次设备风险评估与检修决策研究

夏 寅¹, 张晓青²

(1. 江苏北辰冠源电力设计有限公司, 江苏 南京 210014;
2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210003)

摘要:数量庞大的配电自动化二次设备是维护配电自动化系统安全稳定运行的关键对象,通过对配电自动化二次设备风险点的识别和持续关注建立风险评估流程,根据设备的状态评分推算平均故障概率,从而计算综合风险损失和量化风险值。以风险损失和检修成本之和最小为优化目标,构建检修决策优化模型,综合考虑风险和成本费用两方面后,文中对检修计划给出了科学合理的排序,大幅降低二次设备的检修成本和因不合理检修可能导致的故障风险,实现配电自动化二次设备的精益化运维管理。

关键词:配电自动化二次设备;状态评价;风险评估;检修决策

中图分类号: TP207

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2018)03-0155-06

0 引言

电力企业的迅速发展和配电自动化应用的普及,对配电自动化运行的安全性、稳定性以及运维管理的水平提出了更高的要求。配电自动化设备的检修方式已逐渐从传统的计划检修向状态检修转变,对配电自动化设备的状态评价是作为配电自动化系统进行风险评估的基础与前提,运维人员通过风险评估能够对配电自动化设备运行中出现的风险以及安全隐患进行预防。由此可见,配电自动化二次设备运行维护中风险评估能够为电力企业配电自动化日常维护、正常运行、技术以及检修提供科学合理的决策依据^[1-3]。

配网二次设备的风险评估与状态检修已在许多地区电网展开了相关研究,目前大多是从继电保护方面开展二次设备的风险评估或状态检修研究,缺少对配电自动化二次设备的研究,并且将风险评估与状态检修二者关联起来的研究和应用较少。

本文以配电自动化终端设备为切入点,考虑其运行特点及对其状态的影响因素,从设备状态评价出发,采用量化风险值的方法进行风险评估^[4],提出了以风险损失和检修成本最小为优化目标,构建检修决策优化模型,实现了配电自动化二次设备的精益化运维管理。

1 配电自动化二次设备运行风险综合评估方法

1.1 配电自动化二次设备风险评估流程

配电网运行设备的风险评估主要包含设备自

身风险与故障风险,主要对设备的资产值、资产损失度以及设备发生的风险概率等方面进行评估。针对配电自动化系统运行中潜在的风险,将配电自动化二次设备作为风险研究点,可知二次设备在其使用期限内,运行使用的时间与设备发生故障之间的频率具有一定规律^[5]。设备综合风险评估是基于设备的状态评价结果进行的,风险的计算以风险值为指标,是设备故障可能损失的总资产与设备发生故障概率二者的乘积^[6],风险评估流程如图1所示。

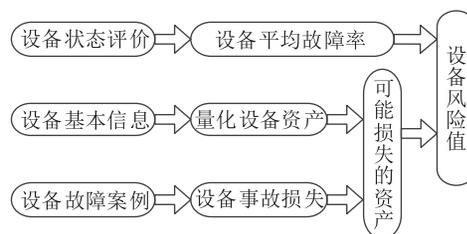


图1 设备风险评估流程

Fig.1 Equipment risk assessment process

1.2 配电自动化设备平均故障概率

故障发生概率是设备可靠性原始数据之一,也是进行可靠性和风险评估的基础。故障概率的分析与确定,是通过对某元件或设备进行长期的现场运行记录,对数据统计分析而得。根据文献^[7]中所述的状态评价方法,对配电自动化二次设备分别从投运前状况、历史运行状况、检修状况和实时运行状况等方面选取状态参量,根据设备的健康状况对参量制定评价标准,并逐项打分。采用负指数曲线进行拟合设备平均故障概率 $\bar{p}(S)$,其数学表达式为:

$$\bar{p}(S) = Ke^{-CS} \quad (1)$$

式中: S 为根据设备状态评价结果取其对应的简化计算量化值; K 为比例系数; C 为曲率系数。 K 和 C 均为与设备种类、运行环境等诸多因素有关的常量,可采用下式进行反演计算:

$$Q = \sum_{i=1}^N M_i \bar{p}(S_i) = \sum_{i=1}^N M_i K e^{-CS_i} \quad (2)$$

式中: N 为根据状态评价方法确定的状态等级; M_i 为评价周期内各等级所对应的设备台数; Q 为评价周期内的故障台数。

依据设备状态评价分值将状态等级 i 分为正常状态、注意状态、异常状态、严重状态 4 个等级,并对二次设备分别按照 4 个状态等级开展分类统计^[8]。在获得 2 个统计周期内运行状态和故障概率统计数据的基础上,反演计算 K 和 C 值。根据某供电公司的配电网 2015 和 2016 年 2 年的配电自动化终端设备的运行情况统计样本数据,由上述计算方法得出 K 和 C 的值分别为 8640 和 0.159 6。选取各状态等级分值区间的中间值作为简化计算量化值,通过反演计算得到的故障概率作为设备平均故障率,如表 1 所示。

表 1 设备状态评价分值和平均故障概率

Tab.1 Equipment status evaluation score and average probability of failure

状态级别	正常状态	注意状态	异常状态	严重状态
状态评分	85~100	75~85(含)	60~75(含)	≤60
归一化评分值	90	80	70	60
平均故障概率/%	0.5	2.5	12.5	60.0

2 配电自动化设备风险评估模型

配电自动化二次设备主要包括继电保护装置、二次回路、自动装置、就地监控、故障录波和远动装置等,导致设备风险隐患的因素主要有:配电自动化终端关键硬件故障,包含电源插件、CPU 插件、遥测插件、遥信插件、遥控插件等故障;二次回路断线故障,包含遥测、遥信、遥控回路故障;终端就地保护装置故障等。

根据风险评估的定义,风险值由设备平均故障概率和可能造成的损失来确定^[9],设备风险损失以量化的风险值为指标,不仅要考虑设备发生故障的可能性,也就是设备发生故障的概率,还要考虑设备故障导致的可能损失的资产,进而研究配电自动化二次设备风险的量化评估模型和风险评估方法^[10]。

可能损失的资产是指综合考虑资产与损失程

度得到的潜在损失总量,例如配电终端故障时,不能正常发送遥测量等量测值,导致未能及时监测到某线路重载甚至过载的风险,从而造成配电网运行的故障风险和失负荷风险,因此对二次设备从以下 3 方面来评估可能损失^[11-12]:

(1) 配电网可能损失 L_1 。该损失为二次设备故障对配电网运行的影响程度,可由对应故障产生的过负荷或失负荷的重要程度等因素来决定。

(2) 设备可能损失 L_2 。该损失为二次设备自身的价值损失及故障可能造成的关联自动化设备的价值损失。

(3) 用户可能损失 L_3 。该损失为影响用户的重要级别及各级别的数量。

则某二次设备可能损失值为:

$$L = \sum_{i=1}^3 (L_i) \quad (3)$$

通过上述方法得到故障损失后,根据设备风险损失的定义,可得出设备在时刻 t 的风险损失量数学表达式为:

$$R(t) = \bar{p}L(t) \quad (4)$$

式中: R 为风险值; \bar{p} 为平均故障概率; L 为故障可能损失值; t 为某一时刻。

由于影响设备状态评价的因素众多,在确定状态级别时需要考虑不用影响因素的权重,各因素的权重对设备状态评价结果起着至关重要的作用。本模型中采用层次分析法给出设备状态影响因素的权重,层次分析法是根据专家和运行人员的经验分析不同类型的设备状态评分影响因素^[13],并对各因素进行两两比较,得出设备重要程度的比较判断值,如表 2 所示。

表 2 设备重要程度比较判断值

Tab.2 Comparison of the importance of equipment to determine the value

重要程度等级	比值
同等重要	1
稍微重要	3
明显重要	5
绝对重要	7

考虑到实际设备状态的不同情况,对设备资产具体取值时,需要根据设备类型的重要程度,加入风险量化计算,得到表达式如式(5):

$$R(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i L(t) \bar{p} \quad (5)$$

式中: α_i 为不同设备重要程度的比值。

由式(4)可知, $R=1$ 时处于临界状态, $R=0.5$ 为

安全运行区间中值,由此制定配电自动化二次设备运行风险等级分类。根据配电设备的实际影响范围,可以分为3个等级,其中Ⅲ级属于正常状态。设备风险级别划分如表3所示。

表3 风险等级分类和量化风险值的对应关系

Tab.3 Classification of risk level and quantitative risk value

风险级别分类	风险值
I级	$R \geq 1$
II级	$0.5 \leq R < 1$
III级	$0.1 \leq R < 0.5$

I级风险表明设备运行处于危险状态,风险等级最高;II级风险表明设备运行处于警戒状态,风险等级较高;III级风险表明设备运行于安全范围,风险等级较低。

3 配电自动化系统状态检修决策模型

检修的经济性与设备风险损失是相互矛盾的两个方面。降低风险损失需要增加检修成本的投入,若检修不足则会造成设备风险损失的升高。以检修成本和故障风险损失成本之和最小为目标,研究计及风险损失的配网配电自动化设备检修方式选择模型^[14-15]。检修计划决策流程如图2所示。

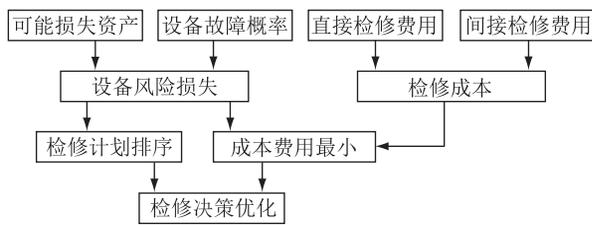


图2 检修计划决策流程

Fig.2 Maintenance plan decision flow chart

其中,检修方式的成本包括:直接检修成本和间接检修成本。直接成本指检修活动本身产生的经济费用,主要包括人工成本、材料成本和机械成本,同类设备的直接检修成本基本相同^[16-20]。直接检修成本的计算公式为:

$$C_1 = \sum_{i=1}^n C_{a,i} \quad (6)$$

式中: $C_{a,i}$ 为第 i 类检修的直接检修成本。

间接成本指由于检修活动导致的供电量减少所造成的电费收入损失^[18]。其计算公式为:

$$C_2 = \sum_{i=1}^n C_{b,i} t_i \quad (7)$$

式中: $C_{b,i}$ 为第 i 类检修的单位时间停电损失; t_i 为第 i 类检修的检修时间。

因此,检修成本可以表示为:

$$C = C_1 + C_2 \quad (8)$$

为兼顾检修的经济性和设备风险,使两者之间协调达到最大满意程度,建立的检修决策的目标函数为检修成本与设备可能损失之和的最小值,即:

$$E = \min(C + L) \quad (9)$$

按照风险值从大到小的序列得出一组检修计划排序,同时结合成本费用进行检修决策的优化。根据电气二次设备的相关检修规程和检验标准进行整理归纳,将设备检修分为A、B、C3个等级,每个等级对应相应的检修策略,如表4所示。

表4 检修类别及对应的检修内容

Tab.4 Maintenance category and the corresponding maintenance content

检修类别	检修内容
A类检修	整体性检修,更换或者修复全部不合格的零件,达到全面消除检修前存在的缺陷,恢复设备的额定功能和精度
B类检修	局部性检修,对设备部分功能部件进行局部的分解、检查、修理、更换,解决主要问题,恢复设备的正常功能
C类检修	一般性检修,对设备进行例行停电试验、带电测试和外观检查、维护、保养、清扫

4 算例分析

以典型馈线自动化(feeder automation, FA)故障处理手拉手环网配电自动化测试系统为例,如图3所示,对检修模型进行验证。图3中,A1—A12表示柱上开关,其中A6、A9为联络开关,其余均为分段开关;B1—B15表示负荷开关。假设分段开关A5处的馈线终端装置(feeder terminal unit, FTU)遥信回路在下次计划检修之前发生故障,未能上送过流信号,可能导致负荷5~6因线路某处发生故障后,未得到故障隔离和故障恢复操作而造成的失电损失;若联络开关A6处的FTU遥信回路在下次计划检修之前发生故障,则不能上送过流等故障信号,故障点下游区域均无法得到供电恢复,将导致负荷5~6及7~9失电损失,可见联络开关处的终端发生故障时造成的损失更大。

测试图中对应的负荷情况,如表5所示。经查询天津城南供电公司配电自动化二次设备检修历史记录,得到检修工程各项费用,进行检修成本计算。以配电终端FTU为例,分别对柱上开关处的FTU故障损失成本和检修成本进行计算,假设故障导致负荷失电时间为1h,由上述计算方法得出设备的故障损失、故障概率以及风险值,如表6所示。

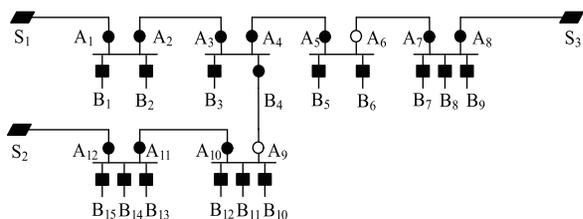


图3 配电自动化故障处理测试

Fig.3 Test figure of distribution automation fault process

表5 算例负荷数据

Tab.5 Load data of example

负荷	用户类型	平均负荷/ MW	最大负荷/ MW	负荷等级
1~2	居民用户	1.67	2.14	3
3	居民用户	0.93	1.45	3
5~6	工业用户	0.81	1.22	3
7~9	工业用户	1.15	1.86	2
10~12	政府机关	0.78	1.19	3
13~15	商业用户	0.85	1.35	3

表6 设备的故障损失计算结果

Tab.6 Equipment failure loss calculation results

设备号	配网运行 可能损失 L_1 /万元	设备可能 损失 L_2 /万元	负荷可能 损失 L_3 /万元	总可能 损失 L /万元	故障概 率 p	风险 值 R
A1 处 FTU	0.60	0.20	0.092	0.892	0.18	0.161
A2 处 FTU	0.60	0.20	0.092	0.892	0.18	0.161
A3 处 FTU	0.60	0.20	0.051	0.851	0.24	0.204
A4 处 FTU	0.60	0.20	0.051	0.851	0.20	0.170
A5 处 FTU	0.60	0.20	0.045	0.845	0.18	0.152
A6 处 FTU	1.00	0.20	0.196	1.396	0.27	0.376
A7 处 FTU	0.60	0.20	0.115	0.915	0.20	0.183
A8 处 FTU	0.60	0.20	0.115	0.915	0.20	0.183
A9 处 FTU	1.00	0.20	0.129	1.329	0.27	0.359
A10 处 FTU	0.60	0.20	0.078	0.878	0.18	0.158
A11 处 FTU	0.60	0.20	0.085	0.885	0.20	0.175
A12 处 FTU	0.60	0.20	0.085	0.885	0.24	0.212

FTU 设备的检修成本统计如表 7 所示,馈线终端 FTU 直接检修成本通常为 0.5 万元/次,由于检修过程中存在一定的随机事件,在此设定一个随机扰动量 l , l 取 0.1 万元,直接检修成本可表示为 $0.5+l$ 。本案例假设 A2、A6、A9 处 FTU 直接检修成本加入随机扰动量。根据表 6 的风险值由大到小进行排序,并且由总可能损失和表 7 的总检修成本求和计算得出 A1—A12 处的 FTU 设备的总损失,如表 8 所示。

从上述计算结果可以看出,A1—A12 处 FTU 设备风险值均在 0.1~0.5 之间,风险等级较低,属于安

表7 检修成本计算结果

Tab.7 Maintenance cost calculation results

设备号	直接检修成 本 C_1 /万元	间接检修成 本 C_2 /万元	总检修成本 C /万元
A1 处 FTU	0.50	0.36	0.86
A2 处 FTU	0.50+0.1	0.36	0.96
A3 处 FTU	0.50	0.20	0.70
A4 处 FTU	0.50	0.20	0.70
A5 处 FTU	0.50	0.18	0.68
A6 处 FTU	0.50+0.1	0.54	1.14
A7 处 FTU	0.50	0.48	0.98
A8 处 FTU	0.50	0.48	0.98
A9 处 FTU	0.50+0.1	0.52	1.12
A10 处 FTU	0.50	0.43	0.93
A11 处 FTU	0.50	0.46	0.96
A12 处 FTU	0.50	0.46	0.96

表8 设备检修计划排序

Tab.8 Equipment maintenance plan

设备号	风险值 R	总损失/万元
A6 处 FTU	0.376	2.536
A9 处 FTU	0.359	2.449
A12 处 FTU	0.212	1.854
A3 处 FTU	0.204	1.551
A7 处 FTU	0.183	1.895
A8 处 FTU	0.183	1.895
A11 处 FTU	0.175	1.854
A4 处 FTU	0.170	1.551
A2 处 FTU	0.161	1.852
A1 处 FTU	0.161	1.752
A10 处 FTU	0.155	1.808
A5 处 FTU	0.152	1.525

全运行范围,可参考 C 类检修方式对 FTU 设备按检修计划序列依次进行检修。如某些 FTU 设备的风险值较高,则根据损失成本选择 B 类或 A 类检修方式。当不同设备的计算风险值大小相等或接近时,则以总损失作为参考进行排序,总损失大的有限检修。此外,从表 8 中可以看出联络开关 A6 和 A9 处的 FTU 发生故障时带来的风险和总损失相对其他设备较高,因此应重点关注联络开关的状态及检修方案。

5 结语

本文研究了配电自动化二次设备运行的综合风险评估方法,建立了配电自动化二次设备风险评估流程,运用对状态评价和故障概率统计方法得出量化风险指标,结合配电自动化二次设备的检修成

本模型和故障风险成本模型,以综合成本最小为目标对检修计划进行决策优化,尽可能地降低配电自动化二次设备的检修成本和因不合理检修可能导致的故障风险,科学安排检修时间和项目,获取经济技术综合最优的状态检修方案,保证配电自动化二次设备安全可靠运行。

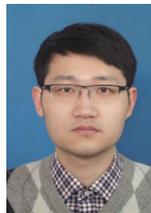
参考文献:

- [1] 李明,韩学山,杨明,等. 电网状态检修概念与理论基础研究[J]. 中国电机工程学报, 2011,31(34): 43-52.
LI Ming, HAN Xueshan, YANG Ming, et al. Basic concept and theoretical study of condition-based maintenance for power transmission system [J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(34):43-52.
- [2] 许娟,王品,高峰,等. 电力设备状态检修技术研究综述[J]. 电网技术, 2000, 24(8): 48-52.
XU Juan, WANG Pin, GAO Feng, et al. Survey of condition based maintenance technology for electric power equipment [J]. Power System Technology, 2000, 24(8): 48-52.
- [3] MOHAMMADNEZHAO-SHOURKAEI H, ABIRI-JAHROMI A, FOTUHI-FIRUZABDA M. Incorporating service quality regulation in distribution system maintenance strategy [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, 26(4):2495-2504.
- [4] 冯永青,吴文传,张伯明,等. 基于可信性理论的电力系统运行风险评估:(二)理论基础[J]. 电力系统自动化, 2006,30(2):11-15,21.
FENG Yongqing, WU Wenchuan, ZHANG Boming, et al. Power system operation risk assessment based on credibility theory: Part two theory fundament [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(2):11-15,21.
- [5] 潘乐真,张焰,俞国勤,等. 状态检修决策中的电气设备故障率推算[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(2):91-94.
PAN Lezhen, ZHANG Yan, YU Guoqin, et al. Prediction of electrical equipment failure rate for condition-based maintenance decision-making [J]. Electric Power Automation equipment, 2010, 30(2):91-94.
- [6] 马同涛,李存斌,王建军. 配电网运行风险的动态评估组合模型[J]. 华东电力, 2014,42(6):1109-1114.
MA Tongtao, LI Cunbin, WANG Jianjun. Dynamic assessment combined model of power distribution operational risk [J]. East China Electric Power, 2014,42(6):1109-1114.
- [7] 吴姜,曹建东,张弛,等. 二次设备量化评估中故障概率的计算方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012,24(6):79-82.
WU Jiang, CAO Jiandong, ZHANG Chi, et al. Calculation of failure probability in status assessment of secondary equipment [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2012,24(6):79-82.
- [8] Q/GWD 645—2011 配网设备状态评价导则[S].
Q/GWD 645—2011 Guidelines of condition assessment for electric distribution network equipment[S].
- [9] 刘晓燕. 基于全寿命周期管理的电力设备状态检修成本研究[J]. 江苏电机工程, 2016,35(5): 74-76.
LIU Xiaoyan. Study on electrical equipment condition-based maintenance cost with life cycle cost theory [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016,35(5): 74-76.
- [10] 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): 91-95.
LIU Ruoxi, ZHANG Jianhua, WU Di. Research on static security index of distribution network based on risk theory [J]. Power System Protection and Control, 2011,39(15):91-95.
- [11] 黄明辉,蔡泽祥,曹建东,等. 电力系统二次设备风险评估模型和方法[J]. 广东电力, 2012,25(2):5-8.
HUANG Minghui, CAI Zexiang, CAO Jiandong, et al. Risk assessment model and method for secondary equipment in power system [J]. Guang Dong Electric Power, 2012,25(2):5-8.
- [12] 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. Maintenance decision making optimization based on risk assessment for distribution system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(11):1-8.
- [13] 秦建光,刘恒,陶文伟,等. 电力系统二次设备状态检修策略[J]. 广东电力, 2011, 24(1):24-27.
QIN Jianguang, LIU Heng, TAO Wenwei, et al. Status-oriented maintenance strategy for secondary equipment in power system [J]. Guangdong Electric Power, 2011, 24(1):24-27.
- [14] 李存斌,李鹏,除龚曙. 基于模糊数相似度的智能电网运营风险综合评价[J]. 华东电力, 2012,40(9):1486-1489.
LI Cunbin, LI Peng, CHU Gongshu. Comprehensive evaluation of operational risk of smart grid based on fuzzy number similarity [J]. East China Electric Power, 2012, 40(9):1486-1489.
- [15] 霍明雷,刘艳,杨林. 计及风险损失的配电设备检修方式选择[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(19):100-106.
HUO Minglei, LIU Yan, YANG Lin. Maintenance mode selection of power distribution equipment considering the loss of risk [J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(19):100-106.
- [16] 胡文堂,高胜友,鲁宗相,等. 利用设备风险评估的检修策略优化[J]. 高电压技术, 2010,36(11):2699-2704.
HU Wentang, GAO Shengyou, LU Zongxiang, et al. Maintenance strategies optimization of equipment using risk assessment [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(11):2699-2704.
- [17] 仲伟宽,徐敏,孙天宇,等. 二次系统状态检修技术在智能变电站中的应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(1):14-15.
ZHONG Weikuan, XU Min, SUN Tianyu, et al. Application of CBM method on secondary system in smart substation [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2012,31(1):14-15.

- [18] 彭建宇,李春来,刘皓明,等. 分布式发电运维模式分析[J]. 电力需求侧管理,2016,18(2):21-25.
 PENG Jianyu, LI Chunlai, LIU Haoming, et al. Analysis on operation and maintenance modes for distributed generation [J]. Power Demand Side Mangment, 2016,18(2):21-25.
- [19] 杨晓辉,尹玉君,寇晓适. 基于风险评估的特高压受端电网输电设备检修策略研究[J]. 电力工程技术,2017,36(2).
 YANG Xiaohui, YIN Yujun, KOU Xiaoshi. Research on the maintenance strategy of UHV receiving power grid transmission equipment based on risk assessment[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(2).
- [20] 刘顺桂,杨佳驹,王 磊. 考虑用户用电特性的基线负荷计算方法[J]. 电力需求侧管理,2016,18(3):17-22.

LIU Shunjia, YANG Jiaju, WANG Lei. Baseline load calculation with considering customer different electrical characteristics. Power Demand Side Mangment, 2016,18(3):17-22.

作者简介:



夏 寅

夏 寅(1986—),男,本科,工程师,从事配网电气设计工作(E-mail: njshine@163.com);

张晓青(1985—),女,硕士,从事智能配电网、配电自动化系统相关工作(E-mail: 425341937@qq.com)。

Research on Risk Assessment and Maintenance Decision of Secondary Equipment of Distribution Automation

XIA Yin¹, ZHANG Xiaoqing²

(1. Jiangsu Beichengyuan Power Design Co., Ltd., Nanjing 210014, China;

2. Nari Technology Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: The large number of distribution automation secondary equipment is the key object to maintain the safe and stable operation of the distribution automation system. The risk assessment process is established through the identification and continuous attention to the risk points of the secondary automation of the distribution automation. The average fault is calculated according to the state score of the equipment probability, then calculate the comprehensive risk loss and quantitative risk value. Taking the minimum cost of risk and the cost of maintenance as the optimization target, to construct the maintenance optimization model of the maintenance decision-making, and the scientific and reasonable sorting of the maintenance plan is given considering both the risk and the cost. Significantly reduce the cost of maintenance of secondary equipment and unreasonable maintenance may lead to the risk of failure, to achieve better operation and maintenance management of secondary equipment.

Key words: distribution automation secondary equipment; state evaluation; risk assessment; maintenance decision

(编辑 钱 悦)