

基于短期气象预报的输电设备维修风险分析方法

夏莹, 周家启, 熊小伏, 张荣海

(重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400030)

摘要: 输电设备由于所处地理区域的不同而时常跨越多个气候区, 气候因素对系统的可靠性指标具有不可忽视的影响。在制定输电设备维修计划时需综合考虑维修期间被维修设备和其他设备所在的气候条件对维修风险带来的影响。建立了考虑不同气象条件下的输电设备维修风险评估模型, 在获知输电网络短期气象预报信息基础上, 可对预定维修计划进行风险分析, 并通过比较量化的 EENS 指标获得更优的维修计划。

关键词: 输电设备; 气候因素; 气象预报; 维修; 风险分析

Method for maintenance risk analysis of transmission facility based on short-term meteorologic forecast

XIA Ying, ZHOU Jia-qi, XIONG Xiao-fu, ZHANG Rong-hai

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology,
Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Since the transmission facilities often extend across multi-climatic districts due to locating in different geographic regions and weather factors have unneglectable effect on the reliability index of power system, the weather conditions of the locus of both the facilities being maintained and other facilities affecting on maintenance risk should be considered when constituting maintenance plans. In this paper, maintenance risk assessment model of transmission facilities considering different meteorological conditions is established, risk analysis of maintenance plan prearranged is put up based on obtaining short-term meteorologic forecast information of transmission network, and then more favorable maintenance plan can be achieved through comparison of EENS index quantified.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China(No.50777068).

Key words: transmission facility; weather factors; meteorologic forecast; maintenance; risk analysis

中图分类号: TM561 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)11-0044-04

0 引言

电力系统输电设备维修是确保电网稳定运行的重要环节, 维修期间系统风险的评估是制定维修计划需要考虑的关键因素。输电网络大部分设备处于户外, 根据经验可以发现大多数元件的故障率随气候条件的变化而变化, 气候因素对系统的可靠性指标具有不可忽视的影响^[1-3]。有关气候因素对电力系统可靠性的影响的研究, 国内已有相关的文献报道, 文献[4]在发输电组合系统可靠性评估中考虑了恶劣气候的影响, 将气候条件分为正常气候条件和不利气候条件, 对输电线路提出分段模拟气候状态的方法。文献[5]在对大电力系统可靠性评估中计及气候条件因素, 将电网所在区域划分为两个气候区域,

气候类型分为正常、不利和暴风雨三种气候状态, 采用 Monte Carlo 方法对气候区域和输电线路进行抽样, 确定区域气候状态和输电元件状态。文献[6]将天气的期望值分为正常天气和恶劣天气两种, 提出在恶劣天气条件下元件能否维修两种情况下可靠性指标的分析方法。

对于大型输电网络, 往往不同的输电设备跨越了几个气候区, 同一时刻可能处在不同的气候条件下。然而, 在现有的输电设备维修计划制定中更多侧重于考虑被维修设备所处天气条件适不适合进行维修, 没有考虑到其他设备所处的气候条件对系统运行风险带来的影响。本文通过天气预报获知预定维修期间的气象条件, 根据历史统计数据计算电网中处于不同气象区域的输电设备的故障率, 建立考虑不同气候形式对系统可靠性影响的评估模型, 通过对预定的维修计划的风险比较, 制定相应预案,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50777068)

调整维修计划,以获得更优的维修计划。

1 基于短期气象预报的输电设备维修风险评估模型

影响输电设备可靠性的气候形式可能多种多样,如雷害、覆冰、降雨、大风、高温、自然灾害等,都可导致输电元件故障率增大。绝缘子受到雨雪、露水、雾气等作用,在其表面硬化而结垢,将造成绝缘子的泄漏电流增加,导致闪络事故发生,甚至引起高压绝缘子短路故障,严重影响电力设备和电网的安全运行^[7]。文献[8]介绍了2008年湖南电网遭受冰灾的影响,严重覆冰致使多处倒塔、断线、冰闪、跳闸等,导致大面积停电灾害。恶劣的气候条件还将阻止或延迟元件的修复过程,使输电元件可用率下降。因此在输电设备维修风险分析中考虑天气变化对系统可靠性的影响十分有必要^[9-11]。

对于考虑处在不同气候条件下的输电设备应有不同的故障率和修复率。以往电力部门在进行可靠性数据收集时,并没有区分不同气候条件下的不同故障率,只是按年平均故障率进行收集。大多数数据收集系统提供的是失效频率 f 和修复时间 t 。传统的电力系统可靠性评估模型对单个设备的失效频率通常用年平均失效次数来估计:

$$f = \frac{N_f}{T} \quad (1)$$

式中: N_f 是一个设备在所考察的时间期间 T (年)内发生可修复失效的次数。计算强迫失效的频率时, T 应当是整个经历的时间减去非强迫停运的时间(计划检修和其他计划停运)。由式(1)所得的 f 仅仅是与正常气候和不利气候都有关的一个设备失效的统计量,并不能实际的表示设备的特性,因而掩盖了气候等环境因素对可靠性的影响^[12-15]。

工程实践表明,不同气象条件下电气设备的故障率差异较大,其对电网的可靠性影响也有较大不同。因此,更为合理的方法是按维修期间气象条件下的多年设备故障率计算被维修设备的失效率,可用公式(2)来表示考虑不同天气条件下的设备失效率:

$$f_w = \frac{\sum_{i=1}^Y N_{fi}}{\sum_{i=1}^Y T_{wi}} \quad (2)$$

其中: f_w 是某种气候形式下某一设备的失效率; i 表示年数; Y 表示统计区间; N_{fi} 是第 i 年内在某种气候条件下某一设备发生失效的次数; T_{wi} 是第 i

年内某种气候持续的时间(小时)。根据电力部门提供的在某种气候条件下出现故障的统计资料,以及气象部门提供的不同地域某种气候的持续时间统计资料计算出发生失效的频率,最后采用条件抽样技术确定任何时段、任何地域的设备失效频率值。

结合某地区电力部门提供的失效数据与气象部门的气候资料,1998~2007年该地区不同地理区域内两条330 kV输电线路在不同气候条件下发生故障统计具体数据如表1所示。不同气候条件下的线路失效频率图如图1所示。

从表1的数据可知,该区雷害的季节性与覆冰的季节性突出,随着季节的转换,气候突变会造成输电线路故障频繁。处在雷害、覆冰等气候条件下输电线路的失效频率明显高于正常气候条件下的失效频率。若不考虑气候影响时的可靠性计算结果在某些情况下会产生比较大的误差,偏于乐观。从图1可以看出不同地理区域内气候的差异性以及线路失效频率影响的差异。

表1 不同气象条件下的线路失效数据

Tab.1 Failure data of transmission line under different weather conditions

线路 气候	失效频率/次·h ⁻¹		修复时间/(h/次)	
	L1	L2	L1	L2
雷害	0.006 25	0.006 83	8.17	9.55
覆冰	0.005 6	0.004 8	15.3	12.6
降雨	0.001 8	0.001 9	3.58	3.23
大风	0.002 8	0.002 2	5.85	5.10
高温	0.001 6	0.002 1	6.32	7.51
自然灾害	0.004 2	0.005 3	18.36	19.07
正常	0.001 3	0.001 7	1.96	2.15

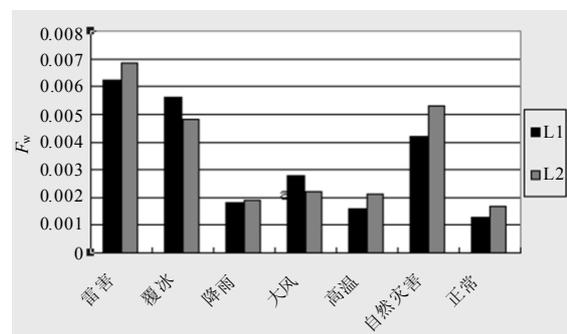


图1 不同气候条件下的线路失效频率图

Fig.1 Line failure frequency diagram under different weather conditions

在建立考虑不同气候形式对系统可靠性影响的评估模型中,利用气象部门提供的短期天气预报预

知被维修设备以及系统中其他设备所处的气象条件, 根据不同气象条件下设备的失效数据通过可靠性评估得到可靠性指标, 如: 电量不足期望 EENS。在评估输电网供电可靠性中, 计算风险指标 EENS (兆瓦时/期间) 可用式(3)计算:

$$EENS = \sum_{i \in S} C_i F_i D_i \quad (3)$$

式中: S 为给定时间区间内不能满足负荷需求的系统状态全集; C_i 为状态 i 条件下削减的负荷功率; F_i 为系统处于状态 i 的频率; D_i 为状态 i 的持续时间。将量化的可靠性的指标进行比较得出对系统风险影响最小的输电设备维修计划。

2 算例分析

以图 2 所示简单供电系统为例, 发电中心 1 和发电中心 2 分别通过 L1 和 L2 给负荷中心供电, 根据设计, 两条线路可以并列运行同时给负荷中心供电, 也可相互作为备用对负荷中心供电。假定发电中心 100%可靠, 负荷中心用集中总负荷表示。L1、L2 处于不同地理区域, 对 L1 进行维修需要 3 天, 制定维修计划时需考虑在 L1 维修停运期间 L2 发生失效导致失负荷的事件。

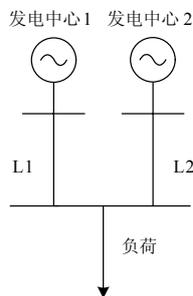


图2 简单供电系统结构图

Fig.2 Structure graph of simple power supply system

现阶段制定维修计划主要考虑被维修线路 L1 所处的气候条件是否正常, 忽略了系统中其他线路 L2 所处气候条件可能带来的系统风险。因为该系统中两条线路处于不同地理区域, 在维修期间两条线路所处气候条件可能有所不同。一条长距离输电线路在同一时刻也有可能处在不同的气候状态下, 在这里只考虑最严重的气候影响因素, 若线路的某一部分发生失效, 整条线路都将被迫停运。因此需要计算不同气候条件下 L2 失效带来的风险, 以计算风险指标期望缺供电量 EENS (expected energy not supplied) 为例说明, 即用公式(4):

$$EENS = f_w \times T \times 24 \times t \times C \quad (4)$$

式中: f_w 为线路失效频率; T 为维修停运持续时间

(天); t 为修复时间; C 为维修期间削减的负荷功率。

L2 在不同气象条件下的失效数据及修复时间如表 1 所示。根据负荷预测得到在 L1 维修停运的 3 天内该地区平均每小时负荷为 1 025 MW。计算 EENS(单位: MWh)结果如表 2 所示。

表2 线路维修期间EENS表

Tab.2 EENS table in the duration of line maintenance

气候条件	EENS
雷害	4 813.7
覆冰	4 463.42
降雨	452.91
大风	828.04
高温	1 163.09
自然灾害	7 459.04
正常	269.74

从以上结果可见: 线路 L2 在正常天气下与其他气候条件下的期望缺供电量相差很大, 说明了不同的天气条件对系统可靠性有着相当大的影响。因此在制定线路 L1 的维修计划时有必要考虑 L2 所处的气候条件可能引起的系统风险的变化。

3 结论

输电网络中不同的输电设备处于不同地理区域, 跨越了不同气候区, 而不同的气候条件对不同区域电气设备的可靠性有着较大差别。因此, 在制定输电设备维修计划时不能只考虑被维修设备所处的天气条件是否适合进行维修, 还应综合考虑其他设备在维修期间所处的气候条件对系统风险进行综合评估。

本文建立了基于 EENS 指标比较的考虑不同气候条件下部分设备维修过程中的系统风险评估分析方法, 从而为制定最优维修计划提供了一种新的技术手段。

文中给出的算例证明了本文所提方法的有效性。

参考文献

- [1] 宋人杰, 王晓东. 输变电设备状态检修评估分析系统的研究[J]. 继电器, 2008, 36 (9): 54-57, 63. SONG Ren-jie, WANG Xiao-dong. Research on assessment and analysis system of condition-based maintenance for power transmission and transformation equipment[J]. Relay, 2008, 36 (9): 54-57, 63.
- [2] 张腾, 董洁, 张波. 计及气候影响的配电线路可靠性分析[J]. 山东大学学报: 工学版, 2003, 33 (6):

- 632-634, 698.
ZHANG Teng, DONG Jie, ZHANG Bo. To evaluate the reliability of distribution system for weather factor[J]. Journal of Shandong University of Technology, 2003, 33 (6) : 632-634, 698.
- [3] 封晓东, 贺要锋, 孙强宇. 基于3G输电线路故障定位及维修系统研究[J]. 继电器, 2007, 35 (16) : 76-78.
FENG Xiao-dong, HE Yao-feng, SUN Qiang-yu. Research of the power line fault location and maintenance system based on 3G[J]. Relay, 2007, 35 (16) : 76-78.
- [4] 丁明, 戴仁昶, 洪梅, 等. 影响输电网可靠性的气候条件模拟[J]. 电力系统自动化, 1997, 21 (1) : 18-20.
DING Ming, DAI Ren-chang, HONG Mei, et al. Simulation to the weather condition affecting the reliability of transmission network[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21 (1) : 18-20.
- [5] 刘洋, 周家启. 计及气候因素的大电力系统可靠性评估[J]. 电力自动化设备, 2003, 23 (9) : 60-62.
LIU Yang, ZHOU Jia-qi. Incorporating weather effect in bulk power system reliability evaluation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23 (9) : 60-62.
- [6] 陈永进, 任震, 黄雯莹. 考虑天气变化的可靠性评估模型与分析[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (21) : 17-21.
CHEN Yong-jin, REN Zhen, HUANG Wen-ying. Model and analysis of power system reliability evaluation considering weather change[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (21) : 17-21
- [7] 贾立雄, 陈丽娟, 胡小正. 2006年全国输变电设施和城市用户供电可靠性分析[J]. 中国电力, 2007, 40 (5) : 1-7.
JIA Li-xiong, CHEN Li-juan, HU Xiao-zheng. Statistic analysis on reliability of power transmission and transformation facilities and power supply for urban distribution user in China in 2006[J]. Electric Power, 2007, 40 (5) : 1-7.
- [8] 陆佳政, 蒋正龙, 雷红才, 等. 湖南电网2008年冰灾事故分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (11) : 16-19.
LU Jia-zheng, JIANG Zheng-long, LEI Hong-cai, et al. Analysis of Hunan power grid Ice disaster accident in 2008[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (11) : 16-19.
- [9] Billinton R, Wu Chenjian. Predictive reliability assessment of distribution systems including extreme adverse weather[C]//Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 2001.719-724.
- [10] Billinton R, Singh G D. Reliability assessment of transmission and distribution system considering repair in adverse weather conditions[C]//Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 2002.88-93.
- [11] 林海华, 李卫东. 输电线路检修计划的优化算法综述[J]. 继电器, 2005, 33 (21) : 87-91.
LIN Hai-hua, LI Wei-dong. Summarizing the optimized algorithms to transmission line maintenance scheduling[J]. Relay, 2005, 33 (21) : 87-91.
- [12] 彭卉, 张焰, 温兴文, 等. 输电网供电可靠性的实用化定量评估软件包[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (21) : 81-84.
PENG Hui, ZHANG Yan, WEN Xing-wen, et al. Software package for quantitative evaluation of transmission systems supply reliability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (21) : 81-84.
- [13] 吴义纯, 丁明, 李生虎. 风电场对发输电系统可靠性影响的评估[J]. 电工技术学报, 2004, 19 (11) : 72-76.
WU Yi-chun, DING Ming, LI Sheng-hu. Reliability assessment of wind farms in generation and transmission systems[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19 (11) : 72-76.
- [14] 丁明, 刘友翔, 戴仁昶, 等. 输电系统的分层可靠性建模及概率模拟[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1997, 37 (S1) : 99-103.
DING Ming, LIU You-xiang, DAI Ren-chang, et al. Hierarchical transmission system reliability modeling and probabilistic simulation[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 1997, 37 (S1) : 99-103.
- [15] 李文元. 电力系统风险评估: 模型、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
LI Wen-yuan. Risk assessment of power systems: models, methods and applications[M]. Beijing: Science Press, 2006.

收稿日期: 2009-07-01

作者简介:

夏莹(1987-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统可靠性、保护与监控研究; Email: xyreby@163.com

周家启(1938-), 男, 教授, 博士研究生导师, 从事电力系统规划与可靠性、电力系统风险分析研究;

熊小伏(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力系统保护与监控研究。