

输电线路杆塔接地状态评估及风险分级研究

邱 焜,彭红刚,王牧浪,徐 研

(广州供电局有限公司,广东 广州 510000)

摘要:提出了一种杆塔接地装置状态评估和风险分级的方法。该方法依据输电线路杆塔的接地参数——接地电阻测量值与接地电阻设计值,引入了中间参数——杆塔接地电阻与设计要求值的偏差率 σ 和接地电阻测量值变化率 γ ,借助于四分位法法的统计学方法,评估杆塔接地装置状态,将输电线路全线杆塔依据风险程度递进划分为ABCDE共5个级别。在输电线路杆塔接地参数累积大量数据的前提下,基于最大期望算法,预测杆塔接地参数随时间的分布规律,实现在杆塔接地参数测量之前,通过预测的参数来修正杆塔接地装置的风险分级。

关键词:接地参数;状态评估;风险分级;四分位法;最大期望算法

中图分类号:TM932 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2021)01-0005-04

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20210102

Research on Grounding State Estimation and Risk Classification of Transmission Line Towers

Qiu Xuan, Peng Honggang, Wang Mulang, Xu Yan

(Guangzhou Electric Power Supply Co., Ltd., Guangzhou 510000, Guangdong, China)

Abstract: A method for state estimation and risk classification of tower grounding devices is presented. Based on the grounding parameters of poles and towers in transmission line, that is, the measured value of grounding resistance and the design value of grounding resistance, the intermediate parameter is introduced, that is, σ (the deviation rate of grounding resistance of tower from the design requirement) and γ (the rate of change of the measured value of grounding resistance). The statistical method with the aid of quartile method evaluates the status of tower grounding device, and divides the entire towers of transmission line into five levels of ABCDE according to the degree of risk. Under the premise of a large amount of data accumulated on tower grounding parameters of transmission line, and based on the expectation-maximization (EM) algorithm, the distribution rule of tower grounding parameters with time is predicted, and the risk classification of tower grounding device is corrected by the predicted parameters before the measurement of tower grounding parameters.

Key words: grounding parameters; state estimation; risk classification; quartile method; maximum expectation algorithm

0 引言

输电线路杆塔接地性能的评估与校核,是架空输电线路在设计阶段就必须重点考虑的问题。在线路出现故障时,良好的杆塔接地性能,能快速地将故障电流通过杆塔接地装置泄放到大地上,有效降低输电线路的故障跳闸(闪络)率,并提高线路的反击耐雷水平。输电线路杆塔的接地电阻是表征其接地系

基金项目:中国南方电网有限公司科技项目(GZ_JKJXM20170029)

统性能的重要指标^[1-2]。因此,在输电线路的运维工作中,测量并确保杆塔的接地电阻在合理的区间内十分重要。然而,在常规的输电线路防雷改造中,一般只能根据往年的雷击跳闸数据确定杆塔的接地改造方案;但根据雷击数据做出的接地运维策略,其措施针对性不强,技术经济性不高,无法明确投入与预期效果的定量关系。另外,考虑到技术经济性,在输电线路杆塔接地运维工作中,也不可能一次性对所有阻值超标(大于设计值)的接地装置施行改造^[3]。下面结合杆塔接地参数“大数据云平台”收

集到的接地参数,提出了一种杆塔接地装置的运行状态评估和风险等级预警的方法和系统。旨在通过数据分析得到杆塔接地的差异化运检方案,更科学地支撑运维管理决策。

所提出的输电线路杆塔接地装置的状态评估和风险分级方法结合历史数据,选取某一特定线路的所有杆塔作为研究对象,基于统计分析方法对全线的接地电阻分布情况、测量值与设计值的偏差、同一杆塔接地参数的变化等特征量进行综合计算,进而得到全线逐基杆塔的接地装置状态和风险等级分级情况。同时,基于最大期望算法计算得到杆塔接地电阻随时间分布的预测情况,并通过预测参数修正杆塔接地装置的风险分级。所提方法能更具针对性地提出线路杆塔接地运维改造策略,为实现更高效、更专业的杆塔接地运维提供了理论支撑。

1 状态特征量及风险等级分类

1.1 杆塔接地状态参数

输电线路杆塔接地状态参数主要包括:接地电阻设计值 $R_{\text{设计}}$ 、历次运行测量值 $R_{\text{测量}}$ (文中用于分析的接地电阻测量值均为考虑季节系数的相对值)和杆塔附近的土壤电阻率等。依据 GB 50545—2010《110 kV ~ 750 kV 架空输电线路设计规范》和 GB/T 50065—2011《交流电气装置的接地设计规范》规定,架空输电线路杆塔接地电阻需满足表 1^[5-6] 的要求。

表 1 不同土壤电阻率条件下的杆塔接地电阻要求值

土壤电阻率 / $(\Omega \cdot \text{m})$	≤ 100	$> 100 \sim$ ≤ 500	$> 500 \sim$ ≤ 1000	$> 1000 \sim$ ≤ 2000	> 2000
接地电阻/ Ω	10	15	20	25	30

1.2 统计特征参数

杆塔接地电阻的测量/设计偏差率 σ 反映了运行中接地装置与设计状态的偏差情况,可通过式 (1) 计算。

$$\sigma = (R_{\text{测量}} - R_{\text{设计}}) / R_{\text{设计}} \quad (1)$$

式中: $R_{\text{测量}}$ 为最近一次的测量数据; $R_{\text{设计}}$ 为线路杆塔设计的要求限制值。一般来说,线路设计中,杆塔的接地电阻设计值即是按表 1 中的要求进行设计和规范。如果运行管理中难以获得线路杆塔的接地电阻设计值,可按照表 1 中的对应设计要求值进行偏差率计算。

另外,为了保证杆塔接地工程的经济性,在某些土壤电阻率较大的地区,标准中对接地电阻的最大限制值不再做严格要求。此时,可通过该基杆塔自身的接地电阻测量值变化率 γ 来反映杆塔接地装置的状态变化情况,可通过式 (2) 计算。

$$\gamma = (R_{\text{本次测量}} - R_{\text{前次测量}}) / R_{\text{前次测量}} \quad (2)$$

所提出的接地装置状态评估和风险分级方法主要依照上述两个接地状态特征量:接地电阻测量值与设计值偏差率 σ 和接地电阻测量值变化率 γ 。其中: σ 为主要影响因素; γ 为次要影响因素。

1.3 接地装置的风险等级分类

将某条线路中的每一基杆塔,按 A、B、C、D、E 分为 5 个不同的接地故障风险等级。每个风险等级对应的接地装置运行状态和推荐的差异化运检方案如表 2 所示^[7-8]。

表 2 不同故障风险等级对应的运行状态及运检方案

风险分级	运行状态	差异化运检方案
A	接地状态好	每 5 年测量一次
B	接地状态较好	每 3 年测量一次
C	接地状态正常, 但存在故障隐患	每 1 年测量一次
D	接地状态较差,可能存在 腐蚀、连接或其他故障	每 6 个月测量一次
E	接地状态差,存在腐蚀、 连接或其他故障	马上复测, 并进行接地改造

由于该风险分析方法是针对某一特定线路中的全部杆塔,因此,得到的杆塔接地故障风险等级只是相对于全线中其他杆塔的“相对风险等级”。而这种“相对风险等级”的划分,能更具针对性地制定该线路的杆塔接地运维改造策略,实现更高效、更科学的杆塔接地运维。

2 接地数据的统计分析方法

2.1 四分位数法

在进行全线样本数据的分析时,利用四分位数^[9-11]统计学方法来描述全线路接地参数的分布,可以进一步评估每一基杆塔接地故障风险程度。同时,四分位数具有较强的数据容错性,部分测量异常值不会对所提评估方法的判据产生大的影响,因而,采用四分位数法对工程数据的测算结果比较客观。基于四分位数法对接地特征参数数据进行分析,可为杆塔接地装置的故障风险分级提供理论依据。

2.2 最大期望算法

最大期望(expectation-maximization, EM)算法是一类通过迭代进行极大似然估计(maximum likelihood estimation, MLE)的优化算法。极大似然估计的根本目的是根据抽样得到的样本(即数据),反推出最有可能的分布参数(即模型);最大期望算法是在依赖于无法观测的隐藏变量的概率模型中,寻找参数极大似然估计或者最大后验估计的算法。它的求解思路是:根据经验为每个类别(即隐藏变量)赋予一个初始分布,这相当于是假定了分布参数;然后根据分布的参数可以求取每个数据元组的隐藏变量的期望(相当于实施了归类操作);再根据归类结果计算分布参数(向量)的最大似然值,利用这个最大似然值再反过来重新计算每个元组的隐藏变量的期望。这样循环往复,最终,如果隐藏变量的期望与参数的最大似然值趋于稳定了,最大期望算法就执行完毕^[12-13]。

基于最大期望算法,依据大量的杆塔接地参数数据,可以预测某一杆塔的接地电阻值 R_{EM} ,根据预测杆塔接地参数随时间的分布规律,实现在杆塔接地参数测量之前,通过预测的参数来修正杆塔接地装置的风险分级。

3 接地装置的风险分级方法

3.1 故障风险分级方法

所提接地装置风险分级方法基于上述四分位数的统计学方法,以整条输电线路为考察对象。主要依照两个参数(接地电阻测量值与设计值偏差率 σ 和接地电阻测量值变化率 γ),其中 σ 为主要影响因素, γ 为次要影响因素。分级计算中杆塔接地装置状态评估及风险分级流程如下:

- 1) 如果 σ 小于 0, 则判定风险等级为 A (无风险)。
- 2) 如果 σ 大于 0 且小于样本 1 的 25% 分位值, 则判定风险等级为 B。
- 3) 如果 σ 大于样本 1 的 25% 分位值且小于样本 1 的 50% 分位值, 则判定风险等级为 C。
- 4) 如果 σ 大于样本 1 的 50% 分位值且小于样本 1 的 75% 分位值, 则判定风险等级为 D。
- 5) 如果 σ 大于样本 1 的 75% 分位值, 则判定风险等级为 E。

6) 如果 γ 小于 0, 则风险因子保持不变, 不影响上述判定。

7) 如果 γ 大于 0 且小于样本 2 的 25% 分位值, 则风险因子 + 1; 如果 γ 大于样本 2 的 25% 分位值且小于样本 2 的 50% 分位值, 则风险因子 + 2; 如果 γ 大于样本 2 的 50% 分位值且小于样本 2 的 75% 分位值, 则风险因子 + 3; 如果 γ 大于样本 2 的 75% 分位值, 则风险因子 + 4。

8) 如果杆塔的风险等级为 B、C、D, 且风险因子累积 + 5, 则对应杆塔的风险等级调升一级; 如果杆塔的风险等级为 A、E, 则不受风险因子影响。

杆塔接地装置状态评估和风险分级流程如图 1 所示。

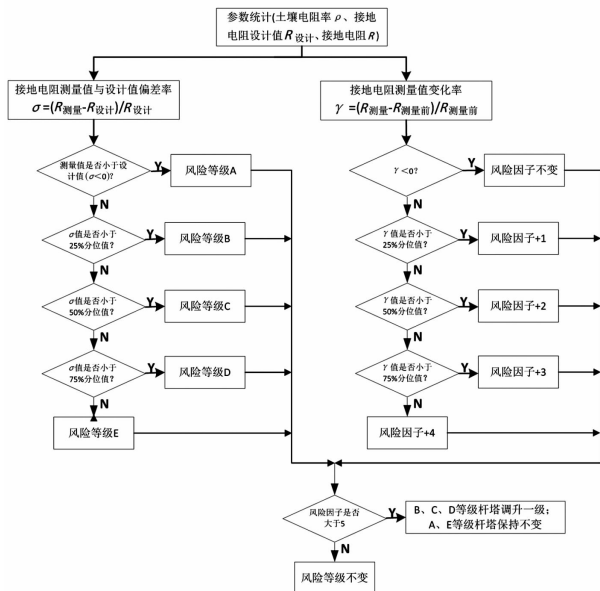


图 1 杆塔接地装置状态评估和风险分级流程

3.2 考虑参数预测算法的风险修正

当输电线路杆塔接地参数累积到一定的数量时,可以借助于最大期望算法,预测同一基杆塔接地参数随时间的分布规律。杆塔接地装置状态评估和风险分级预测流程依照图 1,基于最大期望算法,预测杆塔的接地电阻值 R_{EM} ,用接地电阻预测值 R_{EM} 取代测量值 $R_{测量}$,实现在杆塔接地参数测量之前,通过预测的参数来修正杆塔接地装置的风险分级。根据每基杆塔的风险分级结果,可以指导运维人员针对风险等级高的杆塔优先排班测量。

4 状态评估范例

对某 110 kV 输电线路(共 60 基杆塔)的杆塔接

地参数历史测量数据进行了统计分析,并按所提出的风险分级方法进行了计算分析。全线测量接地电阻大小的分布如图2所示。



图2 110 kV 输电线路沿线接地电阻分布热力图

根据所述的风险分析方法,得到全线60基杆塔中:34基杆塔接地风险等级为A(无风险);6基杆塔风险等级为B;7基杆塔风险等级为C;6基杆塔风险等级为D;7基杆塔风险等级为E。在考虑到技术经济性的前提下,优先改造7基风险等级为E的杆塔。

随后,对这7基风险等级为E的杆塔进行接地电阻改造,均降至设计接地电阻值以内。最后,对全线杆塔的接地状态风险进行二次评估,改造评估结果如表3所示。可以发现, σ_2 较 σ_1 整体上有有所下降,即测量值与设计值的偏离程度有所缩小,进而在有限的接地电阻改造投入下,提高了整条线路的反击耐雷水平。

表3 110 kV 输电线路接地状态评估改造结果

杆塔号	杆塔设计 接地电阻 / Ω	杆塔测量 接地电阻 (最近一次) / Ω	偏差率 σ_1	风险 等级	杆塔测量 接地电阻 (第二次测量) / Ω	风险 等级
6	15	20.17	34.47	E	14.32	A
19	10	13.24	32.40	E	9.86	A
24	10	15.44	54.40	E	8.75	A
33	20	28.95	44.75	E	19.29	A
43	15	20.54	36.93	E	15.12	B
51	10	14.38	43.80	E	10.19	B
56	10	13.92	39.20	E	9.32	A

5 结 语

为实现输电线路杆塔接地的差异化运检,上面提出了杆塔接地的差异化运维方案,并结合四分位

数法和最大期望算法提出了一种杆塔接地装置状态评估和风险分级的方法。最后,将该方法应用于某110 kV输电线路,得到了全线杆塔的接地风险等级分类。主要结论如下:

1)输电线路杆塔接地装置的运维检修方案应结合杆塔接地装置的状态评估水平和风险分级情况进行差异化制定,从而提高线路接地运维的工作效率和经济性。

2)可结合四分位数法和最大期望算法,对输电线路杆塔接地参数的历史测量数据进行统计分析,并基于关键特征参量的比较提出一种基于历史测量数据的风险分级方法,将全线杆塔依据风险程度递进划分为ABCDE共5个级别。

3)应用该方法对某110 kV输电线路杆塔(共60基)接地参数历史测量数据的分析,成功得到了全线13基中等风险以上的杆塔信息和对应的差异化运维方案。

参考文献

- [1] 何金良,曾嵘. 电力系统接地技术[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 接地装置特性参数测量导则:DL/T 475—2017[S]. 北京:中国电力出版社,2017.
- [3] 扈海洋,敬亮兵,袁雪琼,等. 杆塔接地改造新方法[J]. 电瓷避雷器,2016(4):148-151.
- [4] 林敏. 基于大数据的最大期望算法研究[J]. 数字技术与应用,2015(4):124-125.
- [5] 110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范:GB 50545—2010[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [6] 交流电气装置的接地设计规范:GB/T 50065—2011[S]. 北京:中国电力出版社,2011.
- [7] 杨虹,刘国强,张来福,等. 电力系统接地网缺陷诊断及发展趋势[J]. 电工电能新技术,2016,35(10):35-42.
- [8] 李黎,李建平,刘青松,等. 接地装置腐蚀速度的预评估[J]. 建筑电气,2014,32(2):46-49.
- [9] 毛燕. 四分位法和迭代法对数据分散的能力验证检测数据统计分析结果的比较[J]. 冶金分析,2016,36(5):76-81.
- [10] 杨锡运,刘玉奇,李建林,等. 基于四分位法的含储能光伏电站可靠性置信区间计算方法[J]. 电工技术学报,2017,32(15):136-139.