

基于气象参数聚类分析的高原地区 输电线路在线监测装置电源选择

马小敏¹, 王超², 袁志³, 刘凡¹, 范松海¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041; 3. 国网四川省电力公司检修公司, 四川 成都 610041)

摘要: 在线监测是保障电网安全运行和智能运检的重要手段, 不同于变电设备, 输电在线监测在交通条件差、运行维护难度大的高原地区作用尤为凸显, 但输电在线监测装置电源供电不足及环境适应性差等问题尤为突出, 其运行状况高度依赖于线路途经的气象环境条件, 因而输电线路在线监测装置电源选择的气象环境判定尤为重要。提出影响高原地区输电线路在线监测装置电源的关键气象环境因子, 采用聚类算法实现高原地区气象环境分类, 获得高原地区输电线路在线监测装置电源选择的4个典型气象区域, 进而提出高原地区输电线路在线监测装置电源供电方式选择的普适性建议, 为高原地区输电线路在线监测装置电源选择提供参考。

关键词: 高原地区; 输电线路; 聚类算法; 气象分类

中图分类号: TM835 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)05-0005-06

DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.05.002

Selection of Power Supply Mode of Transmission Monitoring Device in Plateau Area Based on Clustering Analysis of Meteorological Parameters

Ma Xiaomin¹, Wang Chao², Yuan Zhi³, Liu Fan¹, Fan Songhai¹

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;

3. State Grid Sichuan Maintenance Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: Online monitoring is an important means to guarantee the safe operation and implement risk control and intelligent operation inspection in large power grid. Unlike substation equipment, the online monitoring outstanding function of transmission equipment lies in these plateau areas with remote traffic, complex geographic conditions, difficult operation and maintenance management. The adaptability problems of insufficient power supply and long endurance time of monitoring devices are prominent and its operation status highly depends on the environmental and meteorological conditions through which transmission lines pass, so the selection of environmental meteorological judgment is particularly important. The key environmental meteorological factors affecting power supply selection for online monitoring of transmission equipment in plateau area are proposed, and clustering algorithm is used to realize environmental meteorological classification in plateau area. Four typical meteorological regions affecting power supply selection of online monitoring devices for transmission lines in plateau area are obtained. Furthermore, some suggestions on the universality of power supply mode selection of online monitoring devices for transmission lines in plateau area in each typical meteorological region are proposed, which can provide a reference for power supply selection for online monitoring construction and transformation of transmission lines in those areas.

Key words: plateau area; transmission line; clustering algorithm; meteorology classification

0 引言

随着跨区域大电网的逐步建设发展和形成, 近

年来在线监测装置被越来越广泛地应用于输电线路, 尤其是在运行环境复杂、运行维护难度较大的高海拔恶劣环境地区^[1-6]。从两大电网(国网和南网)现场应用调研可知, 当前输电线路在线监测装

置供电电源方式普遍采用3种技术手段^[7-11]:太阳能+蓄电池、风能+蓄电池、太阳能+风能+蓄电池。另外,还有少数采用在输电线路感应取能的供电方式^[12-18]。

由于缺乏特别的技术标准规范,目前高原地区的输电设备在线监测普遍采用平原地区的输电设备在线监测技术规范。然而,高海拔地区地形地貌独特及气候环境复杂,各区域内太阳能、风能大小、分布及可利用程度差异较大,同时高原地区低温和大温差也影响着蓄电池持续稳定运行、储能容量及使用寿命,因此该地区在线监测装置经常出现电源供电不足、装置停运或断续运行等适应性问题,平原地区监测装置电源供电方式不适用于高海拔地区。

据统计,在高海拔地区的输电线路,在线监测装置的电源故障占到总故障70%以上。电源问题已成为高海拔地区输电在线监测装置应用的瓶颈,亟需开展高海拔地区输电在线监测装置供电的电源技术研究,特别在输电线路在线监测装置的电源方式选择与设备选型方面需加强研究,以提高线路在线监测装置电源的环境适应性,保障在线监测装置持续可靠地运行。现场运行实践表明,监测装置电源供电不足问题特别突出,其续航时间高度依赖于输电线路途经的自然环境气象条件,因此环境气象判定是输电线路在线监测装置电源选择首要考虑的技术问题。

1 影响输电线路在线监测装置电源供电选择的气象因素分析

输电线路在线监测装置的供电方式主要包括太阳能供电、风能供电、蓄电池供电、在线感应取能线圈供电。影响输电线路在线监测装置供电方式选择的气候环境因素主要包括装置安装地点的日照、风能、环境温度等因素。高原地区普遍具有的气压低、紫外强、昼夜温差大等特点,且同为高原地区,气象环境参数差异也较大,对高海拔地区输电线路在线监测装置及其供电提出了更高的要求。

1) 高原地区普遍存在海拔较高、空气稀薄、日照强等特点,适宜在日照充足且时间长的高原地区利用太阳能供电。但如统一采用太阳能+蓄电池方式并不能完全满足不同高原地区的需要。

运行环境温度对蓄电池性能影响很显著,当环境温度较高或较低时,将加速蓄电池能量消耗,从而

降低蓄电池的供电持续时间。此外,环境温度对太阳能电池板的工作效率也有较大影响。当太阳能电池板表面温度较高时,太阳能板输出功率与其表面温度呈负相关的线性关系特征使得太阳能电池板的输出效率降低;当环境温度低于0℃且空气温度较高时,在线监测装置电池板覆冰后将会降低太阳能板接收太阳光的能力从而降低太阳能电池板的供电效率,此时主要依靠蓄电池给在线监测装置持续供电,从而降低输电线路在线监测装置电源的不可靠运行风险。

2) 高原风能资源较好的地区,适宜选择风能供电方式,但当装置安装地点的最大风速超过40 m/s或极大风速超过60 m/s,或安装地点的最低气温低于-20℃,长期冰雪、雷暴、盐雾或沙尘气候时,将大幅增加风机的运行维护难度和成本,不宜选择风能+蓄电池的供电方式。

2 高原地区典型环境气象分类

2.1 高原地区气象分类因子选择

中国高原地区分为青藏高原、云贵高原、内蒙古高原和黄土高原,其典型气候环境特点如下:1) 青藏高原地区太阳辐射强烈,日照时间长,年太阳辐射总量586~753 kJ/cm²,年日照总时数2500~3200 h;气温低,最高平均温度20℃,最低平均温度-6℃;年平均风速约1~3 m/s。2) 黄土高原地区最高平均温度28℃,最低平均温度3℃,具有冬季严寒、夏季暖热的特点;年均风速约3~5 m/s;年日照总时数2800~3200 h。3) 云贵高原地区最高平均温度24℃,最低平均温度5℃;日照时数偏少,年日照总时数1200~1400 h;年平均风速约1~3 m/s。4) 内蒙古高原地区是中国多风地区之一,年均风速约7~9 m/s,8级以上大风日数约50~90 d;高原上日照充足,年日照总时数约2800~3200 h;最高平均温度24℃,最低平均温度-3℃。

以上四大高原地区气象特点较为粗略,由于同一高原的气候环境差异也较大,难以在输电线路在线监测装置电源选择时使用。此外,上述地区分类以地理位置划分,但各区域内或区域间可能存在相似的气象区域。

根据前面的高原气象条件对输电线路在线监测装置供电方式的影响分析,高原地区气象条件的主

要分类因子包括平均日照、环境风速、环境温度等。考虑到在线监测装置供电方式的选择更多依赖于当地的平均日照时间和环境风速,而环境温度主要对蓄电池的影响最为显著,不论采用何种供电方式,为提高在线监测装置供电可靠性,均需搭配蓄电池供电,因此在供电方式选择中主要分析平均日照和环境风速两个气象因子。表1将四大高原细分为60个高原地市,并列出其平均日照和环境风速两项环境气象数据作为所做研究的依据。

表1 高原气候环境气象数据

高原地市	平均日照/h	环境风速/(m·s ⁻¹)
四川甘孜州	1500	4.5
四川阿坝州	1800	4.2
四川凉山州	3000	5.0
四川攀枝花	2800	4.0
四川雅安	1000	3.0
四川广元	1200	3.0
西藏拉萨	2800	4.0
西藏林芝	1400	4.0
西藏山南	2500	5.0
西藏昌都	1800	4.0
西藏墨脱	2800	4.7
西藏萨嘎	2700	4.5
西藏普兰	2800	5.0
西藏纳木错	2500	4.5
贵州贵阳	1200	2.0
贵州毕节	1300	3.0
贵州习水	1000	2.5
贵州安顺	1100	3.5
贵州兴仁	1300	2.5
湖南南岳	1500	3.5
内蒙古呼和浩特	3500	7.5
内蒙古二连浩特	3600	8.5
内蒙古包头	3700	8.0
内蒙古集宁	3500	7.0
内蒙古临河	3300	8.0
内蒙古东胜	3300	8.0
内蒙古多伦	3500	9.0
宁夏银川	2600	7.0
宁夏西吉	2500	6.5
宁夏中卫	2400	7.0
宁夏盐池	2600	6.5
宁夏固原	2400	7.5
山西大同	2400	5.0
山西榆社	2600	4.5
山西五寨	2800	5.5
陕西榆林	2500	5.0

(续)

高原地市	平均日照/h	环境风速/(m·s ⁻¹)
陕西延安	2600	6.0
云南昆明	1400	2.5
云南德钦	1500	3.0
云南昭通	1400	2.5
云南丽江	1300	3.0
云南腾冲	1400	2.0
云南大理	1500	3.0
云南玉溪	1200	2.5
云南宜良	1300	3.0
云南楚雄	1400	3.5
云南曲靖	1500	3.0
甘肃兰州	2600	3.4
甘肃酒泉	2700	6.5
甘肃武威	2400	7.0
甘肃平凉	2500	7.5
甘肃天水	2700	5.5
甘肃玉门	2400	6.5
甘肃敦煌	2600	7.0
青海西宁	3000	5.5
青海祁连	3500	6.5
青海格尔木	3400	8.0
青海德令哈	3200	8.0
青海都兰	3300	8.5
青海泽库	3200	8.5

2.2 聚类分析算法及数据规范化

聚类分析是指将一个物理或抽象的数据对象集合分组成为多个具有类似特征数据族的新集合处理过程。换言之,聚类分析目的就是在相似基础上对收集数据进行聚类分类。通过对采集样本数据进行聚类以衡量不同数据源间的相似性,把数据源分类到不同的聚类族中,获得新的类似特征数据集合。聚类算法的一般步骤如下:

1) 初始化:从 m 个样本数据 x 中选择 k 个代表点 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_k$; k 为聚类族数量。

2) 建立 k 个空间聚类表。

3) 按照最小距离法则逐个对样本 x 进行分类计算,用 d_{\min} 表示最小距离,即

$$d_{\min} = \min \partial(x, p_k) \quad (1)$$

4) 计算目标函数 J 及用各聚类列表数据计算聚类均值,作为各聚类新代表点,即

$$J = \sum_{i=1}^k [x_i - c_k(i)]^2 \quad (2)$$

式中: x_i 为第 i 个测量值; $c_k(i)$ 为数据 x_i 就近的第 k 个聚类中心。

5) 若 J 不变或代表点未发生变化,则停止,否则

转第2步。

通常而言,实测数据应进行规范化预处理,以消除实测数据量纲及取值范围差异而导致的聚类分析结果异常,常采用的最大-最小(MAX-MIN)规范化转换如式(3):

$$x^* = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (3)$$

式中: x^* 为实测数据的归一化值; $\max(x)$ 为最大实测数据; $\min(x)$ 为最小实测数据; $\max(x) - \min(x)$ 为实测数据极差。

2.3 高原地区环境气象因子聚类分类

1) 高原环境气象因子聚类族数量选择

针对表1中所给环境气象因子数据,在进行聚类分类前应进行聚类族数量 k 的选择确定,采用内平方和启发式算法(within sum of square, WSS)实现,其算法表达式为

$$WSS = \sum_{i=1}^m d(x_i, c(i))^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [x_{ij} - c_j(i)]^2 \quad (4)$$

式中: $c(i)$ 为与第 i 个数据点最近的聚类中心; $d(x_i, c(i))$ 为第 i 个数据点到 $c_j(i)$ 的距离; WSS 为所有数据点到最近中心距离的平方和。

利用式(4)进行聚类族数量计算选择,其 WSS 曲线如图1所示。很显然,在 $k=4$ 时 WSS 已经没有显著减小,因此,该高原环境气象因子聚类族数量适宜取4个。

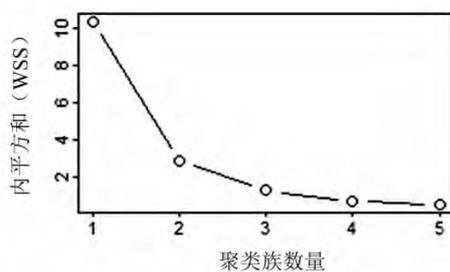


图1 聚类分析聚类族选择

2) 高原环境气象因子聚类分类

根据所确定的聚类族数量对表1中环境气象因子数据进行聚类计算与分析,采用K均值算法实现聚类处理,其计算输出聚类结果如图2所示。

观察图2中聚类情况,很显然,表1中环境气象因子数据被聚类为4类,如图中①、②、③、④所示,其中符号“⊕”表示各聚类族中心,各聚类族聚类效果明显,只有族①和族③边缘相对较近,但聚类中心

也相对较远。根据图2聚类结果,将表1中环境气象因子分类成4类气象环境地区,如表2所示。

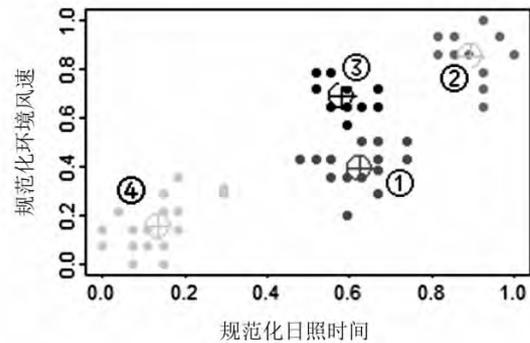


图2 高原气象环境因子聚类分类

表2 高原气候环境气象分类结果

高原地市	日照/h	风速/(m·s ⁻¹)	分类族	地区气象特性
四川凉山州	3000	5.0	1	
四川攀枝花	2800	4.0	1	
西藏拉萨	2800	4.0	1	
西藏山南	2500	5.0	1	
西藏墨脱	2800	4.7	1	
西藏萨嘎	2700	4.5	1	
西藏普兰	2800	5.0	1	
西藏纳木错	2500	4.5	1	强太阳能
山西大同	2400	5.0	1	中等风能
山西榆社	2600	4.5	1	
山西五寨	2800	5.5	1	
陕西榆林	2500	5.0	1	
甘肃兰州	2600	3.4	1	
甘肃天水	2700	5.5	1	
青海西宁	3000	5.5	1	
内蒙古呼和浩特	3500	7.5	2	
内蒙古二连浩特	3600	8.5	2	
内蒙古包头	3700	8.0	2	
内蒙古集宁	3500	7.0	2	
内蒙古临河	3300	8.0	2	
内蒙古东胜	3300	8.0	2	强太阳能
内蒙古多伦	3500	9.0	2	强风能
青海祁连	3500	6.5	2	
青海格尔木	3400	8.0	2	
青海德令哈	3200	8.0	2	
青海都兰	3300	8.5	2	
青海泽库	3200	8.5	2	

(续)

高原地市	日照 /h	风速 /($m \cdot s^{-1}$)	分类族	地区气象特性
宁夏银川	2600	7.0	3	中等太阳能 强风能
宁夏西吉	2500	6.5	3	
宁夏中卫	2400	7.0	3	
宁夏盐池	2600	6.5	3	
宁夏固原	2400	7.5	3	
陕西延安	2600	6.0	3	
甘肃酒泉	2700	6.5	3	
甘肃武威	2400	7.0	3	
甘肃平凉	2500	7.5	3	
甘肃玉门	2400	6.5	3	
甘肃敦煌	2600	7.0	3	
四川甘孜州	1500	4.5	4	
四川阿坝州	1800	4.2	4	
四川雅安	1000	3.0	4	
四川广元	1200	3.0	4	
西藏林芝	1400	4.0	4	
西藏昌都	1800	4.0	4	
贵州贵阳	1200	2.0	4	
贵州毕节	1300	3.0	4	
贵州习水	1000	2.5	4	
贵州安顺	1100	3.5	4	
贵州兴仁	1300	2.5	4	
湖南南岳	1500	3.5	4	
云南昆明	1400	2.5	4	
云南德钦	1500	3.0	4	
云南昭通	1400	2.5	4	
云南丽江	1300	3.0	4	
云南腾冲	1400	2.0	4	
云南大理	1500	3.0	4	
云南玉溪	1200	2.5	4	
云南宜良	1300	3.0	4	
云南楚雄	1400	3.5	4	
云南曲靖	1500	3.0	4	

结合图2及表2整理分类情况,归类获得4个典型的高原地区气象特性分类结果:(1)强太阳能、中等风能地区;(2)强太阳能强风能地区;(3)中等太阳能、强风能地区;(4)弱太阳能、弱风能地区。比较分析表2中环境气象因子数据分类情况,数据归类适当,与所在高原地区气象特性描述一致。

3 高原线路在线监测装置电源供电方式选择

根据上述高原地区太阳能、风能分布情况确定聚类分类的典型气象特征区域,进行该地区输电线

路在线监测装置电源供电的合理选择,以提高线路在线监测装置电源供电的稳定性和可靠性。

1) 强太阳能、强风能高原地区

针对强太阳能、强风能高原地区,输电线路在线监测装置电源适宜采用太阳能+风能+蓄电池的供电方式。在此电源供电方式下,当日照和风能条件较好时,以太阳能+风能混合供电为主,同时向蓄电池充电;当太阳能和风能条件均较差时,利用蓄电池向在线监测装置供电。蓄电池选型选择耐高温或耐低温型蓄电池。

2) 强太阳能、中等风能高原地区

针对强太阳能、中等风能高原地区,输电线路在线监测装置电源适宜采用太阳能+蓄电池的供电方式。在此电源供电方式下,当日照条件较好时,以太阳能供电为主,同时向蓄电池充电;当日照条件均较差时,利用蓄电池向在线监测装置供电。蓄电池选型结合环境的最高、最低平均温度选择。

3) 中等太阳能、强风能高原地区

针对强风能、中等太阳能高原地区,输电线路在线监测装置的电源适宜采用风能+蓄电池的供电方式。在此电源供电方式下,当风能条件较好时,以风能供电为主,同时向蓄电池充电;当风能较差时,利用蓄电池向在线监测装置供电。蓄电池选型结合环境的最高、最低平均温度进行选择。

4) 弱太阳能、弱风能高原地区

针对弱太阳能、弱风能高原地区,输电线路在线监测装置电源适宜采用在线感应取能+蓄电池的供电方式。线路带负荷时,利用在线感应取能线圈向线路在线监测装置供电,同时向蓄电池充电;当线路不带电时,利用蓄电池向在线监测装置供电。蓄电池选型结合环境的最高、最低平均温度进行选择。

4 结 语

1) 在缺乏高原地区输电线路在线监测装置电源供电选择技术规范或标准指导下,提出了影响高原地区输电线路在线监测装置电源可靠运行的环境气象问题,为高原地区输电线路监测装置电源供电选择提供思路。

2) 深入分析影响高原地区输电线路在线监测装置电源的环境气象问题,获得了影响高原地区输电线路在线监测装置电源的主要气象因素并提出了

环境气象分类因子,实现了高原地区输电线路在线监测装置电源选择的环境气象分类。

3) 针对高原地区环境气象分类的典型气象特征,提出了相应气象区域的输电线路在线监测装置电源供电选择参考,具有工程应用意义。

参考文献

[1] 王炳强,岳嵩,吴元香,等. 高海拔地区 220 kV 输电线路带电作业安全距离技术研究 [J]. 电力系统保护与控制,2017,45(24):158-162.

[2] 刘磊,田丰,李敏,等. 多物理因素影响下的高海拔特高压直流输电线路电磁环境预测 [J]. 南方电网技术,2016,10(9):43-48.

[3] 胡建勋,刘凯,刘庭,等. 500 kV 高海拔紧凑型输电线路带电作业实验研究 [J]. 高压电器,2010,46(4):35-39.

[4] 王力农,胡毅,刘凯,等. 500 kV 高海拔紧凑型线路带电作业研究 [J]. 高电压技术,2005,31(8):12-14.

[5] 刘磊,李敏,李锐海,等. 高海拔地区 ±800 kV 特高压直流输电线路电磁环境中的气象参数影响 [J]. 高电压技术,2012,38(12):3177-3181.

[6] 李敏,曾嵘,余占清,等. 高海拔地区直流输电线路的电晕损耗 [J]. 高电压技术,2011,37(3):746-751.

[7] 陈忠华,俞容江,胡晨刚,等. 输电线路在线监测装置风光互补电源能量管理策略 [J]. 电力与能源,2017,38(4):387-390.

[8] 褚强,李刚,张建成. 一种基于超级电容的输电线路在线监测系统电源设计 [J]. 电力自动化设备,2013,33

(3):152-157.

[9] 肖俊明,韦学辉,李燕斌,等. 独立型风光互补系统分布式电源的优化设计 [J]. 电测与仪表,2016,53(6):118-123.

[10] 张敏,覃煜,王红斌,等. 输电线路在线监测装置供电电源设计 [J]. 广东电力,2018,31(10):94-100.

[11] 支理想,刘喆,张立东,等. 高压输电线路在线监测供电电源研究及应用 [J]. 电源技术,2015,39(2):413-415.

[12] 李武云,江虹,何小利. 高压输电线路监测设备感应电源设计 [J]. 自动化仪表,2019,40(2):23-29.

[13] 谢志远,毕亭亭,金慧莹,等. 高压输配电线路在线监测设备供电电源的研究 [J]. 电测与仪表,2016,53(22):16-21.

[14] 朱永灿,黄新波,张冠军,等. 输电线路在线监测设备供电电源应用分析 [J]. 高压电器,2018,54(7):231-236.

[15] 陈凯. 高压输电线路在线监测装置供能电源的研制 [J]. 广东电力,2016,29(2):121-125.

[16] 李先志,杜林,陈伟根,等. 输电线路在线监测系统取能电源的设计新原理 [J]. 电力系统自动化,2008,32(1):76-80.

[17] 焦斌亮,付伟,赵德功. 高压输电线路 CT 取能电源的设计 [J]. 电源技术,2013,37(1):130-133.

[18] 熊兰,何友忠,宋道军,等. 输变电线路在线监测设备供电电源的设计 [J]. 高电压技术,2010,36(9):2252-2257.

作者简介:

马小敏 (1988),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为电网设备在线监测及故障诊断、GIS 带电检测等。

(收稿日期:2020-04-17)

(上接第4页)

首端绕组尤其显著。

3) 对于该风电场中仍在运行的箱式变压器,应该加强油色谱分析,一旦发生特征气体产气率升高,则极有可能是首端绕组制造工艺缺陷导致的,应该立即停止运行并进行大修处理。大修时应对低压绕组及铁芯表面的绝缘材料进行更换并增加首端绕组与铁芯之间的间隙。

参考文献

[1] 余光凯,张博,鲁铁成,等. 风电机组箱式变压器雷击事故分析与仿真研究 [J]. 变压器,2017,54(2):62-65.

[2] 王稳. 山地风电场箱式变压器雷击损害事故分析及防范措施 [J]. 电气应用,2017,36(9):37-40.

[3] 施广宇. 一起绝缘油硫腐蚀引发的变压器绝缘事故的分析 [J]. 变压器,2019,56(3):85-86.

[4] 刘朝平. 海洋石油平台干式变压器铁心多点接地常见原因及预防措施 [J]. 电气应用,2018,37(12):28-30.

[5] 黄俊. 变压器铁芯漏磁在线监测传感系统的研究 [J]. 仪表技术与传感器,2017(1):101-105.

[6] 刘毅. 配电变压器铁心多点接地故障的有限元仿真研究 [J]. 变压器,2018,55(7):41-46.

[7] 汪一雄,方毅平,董卓,等. 变压器铁芯夹件多点接地故障分析处理 [J]. 湖南电力,2016,36(3):69-72.

[8] 赵坤,聂德鑫,汪泉,等. 一种变压器铁芯接地电流监测仪的校准方法及不确定度评定 [J]. 仪表技术与传感器,2018(9):110-113.

[9] 洪亮,徐康健. 变压器铁芯接地电流异常的检查与处理 [J]. 电工电气,2015(2):59-60.

作者简介:

刘守豹 (1983),男,博士,高级工程师,主要研究方向为电力系统暂态分析与工程电磁场数值计算。

(收稿日期:2020-05-17)