

# 浅谈变电站 IED 数据在继电保护中的应用

姜 晨<sup>1</sup> 纪礼君<sup>2</sup>

(1. 国网上海市电力公司崇明供电公司, 上海 202150;  
2. 国网上海市电力公司市北供电公司, 上海 200435)

**摘要:** 分析了智能变电站的 IED 装置特性, 包括其通用的针对对象的建模方法和流程。概括总结出 IED 数据的应用情况、应用方法和应用过程并对其数据的应用情况进行了分类, 包含利用 IED 中的算法和数据进行故障区域判别与故障定位、变电站事故自动分析。分析了特定 IED 装置的数据传递过程。最后, 提出了以广域继电保护思想为基础, 建立 IED 数据在线自适应调整和自动有效分析的数据处理方案, 并对其发展做出了展望。

**关键词:** IED; 故障区域判别; 数据传递; 广域继电保护; 在线自适应

中图分类号: TM771 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2018)02-0076-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.02.018

## Overview of IED Data Application in Substation Relaying Protection

Jiang Chen<sup>1</sup>, Ji Lijun<sup>2</sup>

(1. Chongming Power Supply Company of SMEPC of SGCC, Shanghai 202150, China;  
2. Shibei Power Supply Company of SMEPC of SGCC, Shanghai 200435, China)

**Abstract:** The characteristics of IEDs in smart substation are analyzed, including its general object-oriented modeling methods and processes. The application of IED data is generally summarized and classified as well as the application method and process, which consists of carrying out faulty area identification, fault location and automatic analysis of substation events by using the algorithm and data in IEDs. Specific data transferring process of IED is also analyzed. In the end, on the basis of wide-area relaying protection, the IED data processing program with on-line adaptive adjustment and automatic analysis is proposed, and its future development is discussed.

**Key words:** IED; faulty area identification; data transferring; wide-area relaying protection; on-line adaptive adjustment

## 0 引言

继电保护是保障大电网安全的第一道防线, 而由于保护的误动、拒动以及电网的潮流转移等导致的连锁动作最终造成事故扩大也有发生。因此, 在复杂电网环境下审视继电保护中存在的问题, 研究出相应的快速识别故障隔离故障, 简化保护方案是值得研究的。近年来, 随着广域同步测量和智能变电站技术的不断成熟发展, 各种智能电子设备也相应地安装到智能变电站中, 这就为改善继电保护性能提供了良好的契机。

目前变电站内稳态、动态和暂态信息分别由测

控单元、相量测量装置 (phasor measurement unit, PMU) 和故障录波装置、继电保护装置采集。这些装置在功能上存在交叉, 因此在一定程度上也造成了不必要的成本增加和管理难度。文献 [1] 提出一种用于三态 (稳态、动态、暂态) 数据监控的新型多功能 IED 的实现方案, 多功能 IED 通过信息共享和功能优化有效减少网络负担, 提高信息利用率。然而, 伴随这种多功能 IED 方案而来的又是对系统多种数据类型整合和实时分析的更高要求。由于多功能 IED 将多种功能集成, 所以各个功能间的配合问题需要做出深入的研究。

由于 IED 装置数量种类众多, 且大多来自不同厂家, 有着不同的规格, IEC 61850 国际标准的颁布

切实地解决了此问题,实现了多种 IED 的互换性和一致性。IED 的功能有状态监测、故障检测、故障定位、故障诊断、信息交互以及开关操作控制。IED 的特点包括实现信息的完全交互: IED 之间以及 IED 与控制中心之间进行信息完全交互。信息交互不仅包括节点电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数、频率、谐波、电压波动和闪络、开关位置信号、断路器失效信号、重合闸与录波信号,还包含保护与故障隔离的输出信号、网络重构与故障诊断、决策信号等。而所有这些信号都是以标准格式存储在 IED 中的数据形式。有效采集分析这些数据对提高继电保护性能具有不容忽视的意义。下面将从 IED 模型建立、继电保护算法分析、广域继电保护中 IED 数据传递与配合 3 个方面进行论述,分析各技术路线的研究重点和难点并给出建议,在此基础上进一步展望有效利用 IED 数据的方法。

## 1 IED 模型建模思想

### 1.1 基于 IEC 61850 标准的 IED 模型建立

文献[2-3]介绍了关于特定 IED 装置的建模方法和步骤。其中,基于 IEC 61850 标准的故障选线 IED 模型是将故障选线功能分解为 IEC 61850 定义的逻辑节点,对故障选线 IED 进行应用信息和基本功能的标识和划分,构建新型模型的基本框架。由于需要监测多条线路,检测量众多,所以为了避免数据流量较大、计算复杂的不利情况,考虑采用每条线路作为一个逻辑点再将线路信息汇总到选线算法模块,进而选出故障线路的方法。这样既避免了信息冗余,也使得数据传输能对应逻辑节点,提高了系统可靠性。类似地,借鉴 IEC 61850 功能分层结构、统一对象建模和抽象通信服务接口的特点,对广域电流差动保护智能电子设备进行建模。其中广域电流差动保护新逻辑节点的扩展是实现各 IED 互操作性的关键所在。图 1 是超高压线路保护装置对象的建模实例。

由图 1 可知,按照功能划分原则,将一个或几个性质相似的功能归到一个逻辑设备中,整个模型由几个逻辑设备组成。

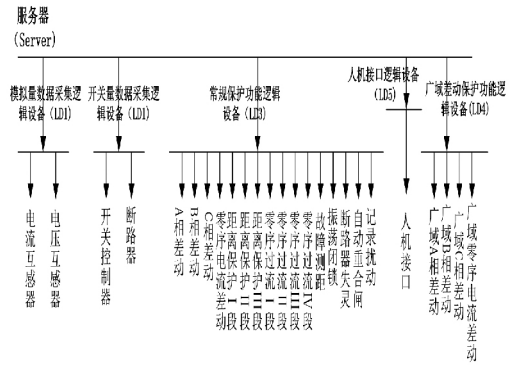


图 1 超高压线路保护的对象模型

### 1.2 功能闭锁 IED 模型建立

随着电力系统规模的不断壮大,IED 数量也相应增加,这带来了数量众多的 IED 数据需要分类并有效处理的问题,而一旦处理有误便会带来严重的影响。功能闭锁机制在避免因电力系统保护误动而导致事故方面具有重要作用。目前国内外的众多研究都只是针对利用 IED 来为整个电力系统服务,提高系统性能,而忽视了 IED 本身的研究。文献[4-5]提出设计数字化变电站运行功能闭锁 IED,以两个设备为例分成正常、预留和释放 3 种控制模式,将相关开关的预留闭锁信息通过通信信道发送给对应的 IED,有效避免了某一个 IED 动作时因为包含其他一个或几个 IED 相关动作信息而导致相应的 IED 发生不正确的动作,实现资源的配置和设备的分布应用,增强了系统运行的灵活和稳定。图 2 阐释了此种功能闭锁 IED 的思想流程。

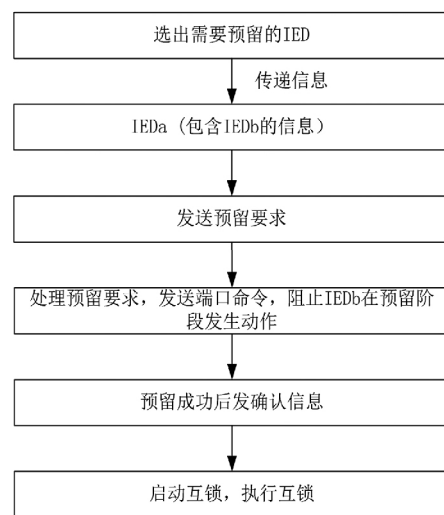


图 2 IED 功能闭锁信息流程

由图 2 可知,此预留闭锁信息的传递过程中,确认信息成功发送很关键,只有成功预留了 IEDb,才不会发生 IEDb 的误动,有效避免因数据流量大

而导致保护 IED 误动。

### 1.3 基于 IEC 61850 的变电站后备 IED 设计

针对保护 IED 装置本身发生故障的情况,文献[6]提出后备 IED 的概念。传统变电站系统只使用本地数据和时间曲线处理保护与协调,而 IEC 61850 的保护 IED 使用建立在以太网基础上的通信网络,采集其他 IED 的数据,最大化实现广域范围内的数据共享,提高保护与协调的有效性。后备 IED 包含变电站的每一种保护元素,由逻辑节点解析文件决定是否使能后备 IED,根据具体实时的运行情况自动激活后备 IED 而不是由厂家整定。后备 IED 有利于减少整体后备 IED 族的数目,也可以为故障的 IED 提供后备。

后备 IED 建立的要求也十分严格:使用 SCD 文件构造 SCL 基础上的保护 IED;避免物理重启,保证持续运行;储存变电站中的继电保护装置和逻辑节点的所有信息和功能。其中后备 IED 的运行也较为复杂,具体为:后备 IED 启动一个主功能路径监测来自变电站的文件传输并等待后备命令;接收到含有逻辑名的文件之前,后备 IED 一直处于在线状态但并不执行任何动作;接收到文件后,解析文件获取信息并匹配数据,执行对故障 IED 的后备。故障 IED 修复后,站控层发送复位信息,此时后备 IED 销毁所有路径,但仍保留主路径,删除所有之前后备动作的相关信息;复位以后,后备 IED 回到初始状态,监测并等待后备信息<sup>[6]</sup>。这种后备 IED 的优点在于不需要物理重启,有效减少了保护失效的时间,但某种程度上会影响系统的实时动态性能和可靠性。所以可以考虑刷新系统,定期重启后备 IED,避免由整定和算法变化产生的不稳定情况。

## 2 IED 中的保护配合与算法应用

### 2.1 分区域思想与聚类算法

文献[7]提出利用广域状态信息进行模糊 C 均值聚类的方法实行故障区域的判别,利用线路智能电子装置(IED)采集相应的保护动作信息、断路器状态信息等,并以网络各个线路 IED 状态信息作为聚类的对象,定义了电网关联 IED 的含义,将故障元件 IED 归为关联的一类,同方向区外故障 IED 归类关联的另一类。文献[8]提出将广域电网划分为类蜂窝结构,实现分区域系统的继电保护,更采用广域继电保护分布集中式系统结构适应区域电网。系统中

IED 主要完成就地电流互感器和电压互感器测量信息及断路器状态信息的采集功能、断路器操作的执行功能、常规主保护功能等。构成了基于信息拓扑树搜索的保护判据,保护对象为树根,其他相邻元件为树枝,以树枝 IED 为节点建立了多层信息域。

### 2.2 IED 方向比较原理

文献[9]提出了一种基于方向比较原理的广域继电保护算法,建立厂站内一次设备和厂站出线对应的一次设备、方向元件关联矩阵,并据此确定具体的故障元件。文献[10]提出基于负序功率方向比较原理的广域继电保护算法。根据 IED 的安装位置,形成了包含有母线及线路在内的 IED 关联域。系统发生故障后,通过 IED 在关联域内对故障信息的采集和共享,定位故障,并按照预定的 IED 动作策略迅速切除故障。综合比较文献[7-10]的算法思想,可得到聚类算法适应性强,但得依赖同步测量工具;负序功率方向比较原理仅适用于非对称故障情况。因此,可以采用将两种思想融合的改进算法,即联合负序功率方向比较与聚类的新继电保护算法,这样不仅可以对上述的算法进行优势互补,还可以通过增大系统的信息冗余提高系统故障判别的容错性。图3阐释的是改进算法的流程图。

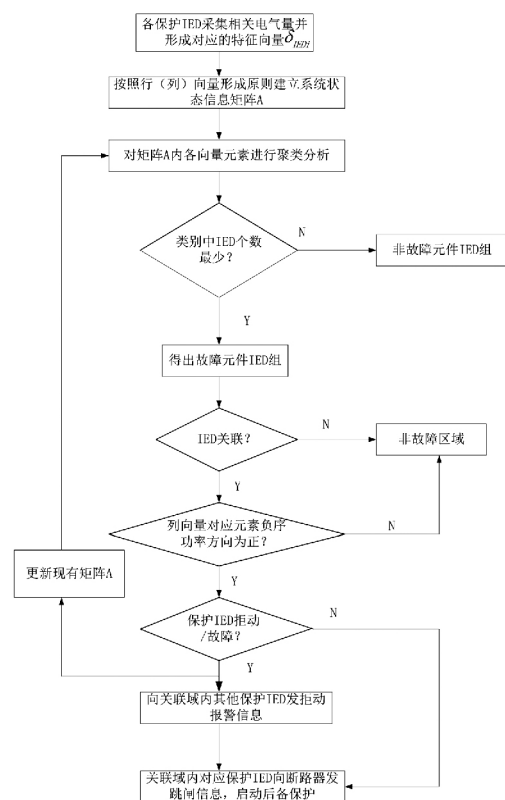


图3 改进法的故障判别与后备保护流程

### 3 广域继电保护 IED 数据传递与配合

#### 3.1 IED 数据提取与传递

变电站中 IED 的安装改变了保护工程的现状, IED 设备不仅记录大量模拟量和数字量,同时也经由通信系统将数据传送到控制中心。由 IED 产生的动作数据能够分析系统中的故障部分,由非动作数据可以分析出故障的原因所在<sup>[11]</sup>。很明显,IED 的数据具有重要的意义,然而,伴随着 IED 存储数据和传递的过程会积累大量的不必要数据。因此,要求系统能够自动辨识所有 IED 中的信息,提取出高质量的有效信息。图 4 给出了 IED 数据的提取过程。

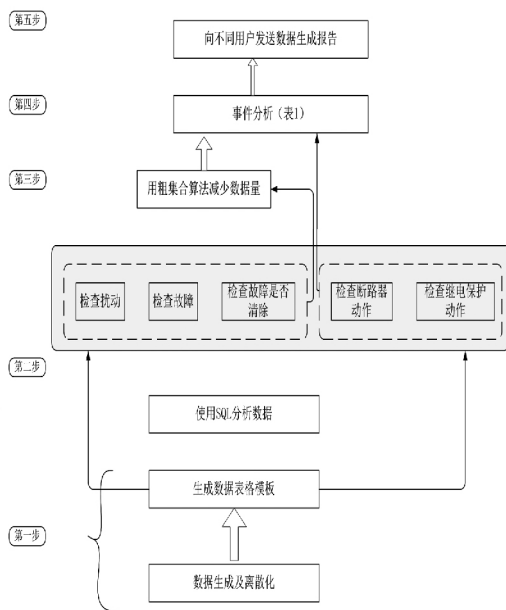


图 4 IED 数据生成提取五步法

#### 3.2 事故分析中的 IED 数据应用

IED 的互换性问题解决之后为系统大流量的数据共享提供了方便,其中利用 IED 数据对变电站进行事故分析具有切实的重要作用。通过分析采集到的 IED 数据,能够得到系统异常的原因,快速恢复供电,阻止事故扩大,保证设备高效率运行;做出基础设施替换维修的决策,延长设备使用寿命,提高系统可靠性。将 IED 数据进行整理和分析可得到事件的分类情况,如表 1 所示。

表 1 变电站事故分析表

扰动	故障	继电保护动作	断路器动作	故障清除	标注
否	否	否	否	×	正常状态
否	否	否	是	×	断路器受远端控制跳闸,维修
否	否	是	是	×	保护系统故障
是	是	是	是	×	保护按预定动作,故障隔离
是	是	否	否	否	保护失效
是	是	否	是	否	保护失效,断路器直接受远端控制跳闸
是	是	是	否	否	断路器失效,后备断路器动作启动
是	否	是	是	×	保护误动作
是	否	否	否	是	系统自愈

#### 3.3 故障隔离与供电恢复 IED 的协调与配合

文献[12]研究了 IED 中不同原理的保护之间相互协调配合问题,指出通过将传统的馈线终端单元换成智能电子设备(IED),利用 IED 的数据信息交互实现网络的故障隔离和供电恢复。以图 5 为例详细介绍 IED 的保护配合。

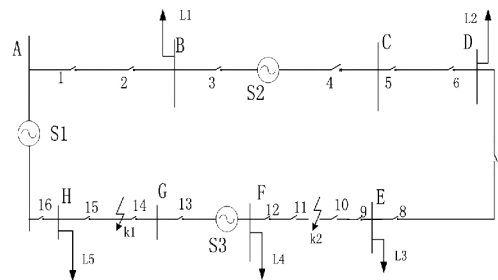


图 5 保护 IED 配合结构

由图 5 可知,当 k1 处发生永久性故障时,IED15 打开断路器 15。同时,IED15 向 IED14 发送开、关命令来控制断路器 14 的操作达到隔离故障的效果。此时,EF 部分是非故障区域,需要恢复供电。IED13 和 IED9 ~ IED12 向系统侧的 IED7 发送恢复电力供应的请求。IED7 合上回路开关 7,此时 EF 部分由 S3 供电。当 S1 发生故障,IED14 ~ IED16 发送恢复供电请求给 IED13,IED13 合上开关,此时 IED14 ~ IED16 由 S3 供电。同样地,IED2 和 IED3 向 IED4 发送恢复供电请求,此时 IED2 ~ IED3 由 S2 供电。当 k2 处发生故障,IED10 和 IED11 预测到故障点位于节点 10 和 11 之间,但节点 10 和 11 之间的开关仅是分段开关,无法切断故障电流。IED11 向

IED12 发送直接跳闸信号,IED12 动作于断路器 12 跳开故障。如果 IED11 检测到馈线上没有电压,打开分段开关 11,经过一定延时,断路器 12 重新合闸,接着合上分段开关 11。如果故障是暂态故障,系统恢复到正常工作。如果是永久性故障,IED11 重新监测到故障电流,再次向 IED12 发送直接跳闸命令,断开断路器 12。当 IED11 检测到馈线上没有电压,打开分段开关 11 和分段开关 10,当 IED11 和 IED10 检测到分段开关 11 和分段开关 10 可靠打开以后,向 IED12 发送重合闸命令,断路器重新合上。至此,节点 12 和节点 11 之间恢复供电。同样地,IED10 向 IED7 发送恢复供电请求,合上开关 7,此时由 S2 供电,节点 7 和节点 10 之间供电恢复。

这种 IED 之间的相互动态配合与协调,能够及时隔离故障区域,但每一次动作之后 IED 之间的相互上下级关系会发生变化,这是在实际应用中需要注意的地方。

关于故障诊断方面,文献[13-14]提出同时利用不同种类的 IED(DPR、DFR、PMU 等)并嵌入不同的故障定位算法,通过增加判据,增强故障定位的快速性,同时提高故障诊断的容错能力。文献[15-16]在广域继电保护的基础上分析了 IED 数据使用的注意事项,指出了应当将 IED 较大的数据信息视为研究重点,并不是数据信息越多越好,必须提取有用信息,减少不必要的干扰信息甚至是错误信息。因此,针对越来越多的 IED 安装于智能变电站中,有必要研究如何充分有效地利用 IED 数据,同时精简 IED 装置数量,实现 IED 数据的在线自适应调整和最有效分析。

## 4 结 语

分析了 IED 数据的产生及提取分析过程,概括总结出 IED 数据的应用情况、应用方法和应用过程,并对其数据的应用情况进行了相关分类。通过具体的实例阐释了利用 IED 中的算法和数据进行故障区域判别与故障定位以及 IED 在广域继电保护领域的配合问题。对具体应用情况指出了研究内容的难点并给出了一定的建议。

### 参考文献

[1] 万博,苏瑞.用于三态监控的多功能 IED 研究[J].电力系统保护与控制,2009,37(22):111-115.

[2] 贾清泉,石磊磊,田杰,等.数字化变电站中故障选线智能电子设备模型[J].电力系统自动化,2011,35(8):63-66.

[3] 王阳光,尹项根,游大海,等.遵循 IEC 61850 标准的广域电流差动保护 IED[J].电力系统自动化,2008,32(2):53-57.

[4] Zhaojie Sun, Bin Duan. The Design of Function Block in IED with Digital Substation Operation [C]//IEEE PES ISGT, ASIA: 2012.

[5] Lin Zhu, Dongyuan Shi, Xianzhong Duan, et al. Standard Function Blocks for Flexible IED in IEC 61850 - based Substation Automtion [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, 26(2): 1101-1109.

[6] Tarlochan S. Sidhu, Il - Hyung Lim. Design of a Backup IED for IEC 61850 - based Substation [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 28(4): 2048-2055.

[7] 吴浩,李群湛,易东.基于广域状态信息和模糊 C 均值聚类的电网故障区域判别[J].电力自动化设备,2013,33(7):39-45.

[8] 李振兴,尹项根,张哲,等.分区域广域继电保护的系统结构与故障识别[J].中国电机工程学报,2011,31(28):95-103.

[9] 杨增力,石东源,段献忠.基于方向比较原理的广域继电保护系统[J].中国电机工程学报,2008,28(22):87-93.

[10] 金恩淑,汪有成,王红艳,等.基于负序功率方向比较原理的广域继电保护算法[J].电力系统保护与控制,2013,41(22):1-6.

[11] Mini, S. Thomas, D. P. Kothari, Anupama Prakash. Automated Substation Event Analysis Using IED Data [C]//Power and Energy Society General Meeting, San Diego, USA: 2012.

[12] R. Amarnath, N. Kalaivani, V. Priyanka, et al. Prevention of Power Blackout and Power Theft using IED [C]//Global Humanitarian Technology Conference, India: 2013.

[13] Papiya Dutta, Yufan Guan, M. Kezunovicet. Use of Substation IED Data for Improved Alarm Processing and Fault Location [C]//Power Symposium, NAPS 08. 40th North American: 2008.

[14] M. Knezev, M. Knezev. Fault Location Using Sparse IED Recordings [C]//Intelligent Systems Applications to Power Systems, National Sun Yat - sen University, Tai Wan: 2007.

[15] Weeraya Siriawatworasakul, Naebboon Hoongcareon. Conceptual Design of Wide Area Protection in Transmission System [C]//Electrical Engineering/Electronics, Com-

puter, Telecommunications and Information Technology, 2013 IEEE 10th International Conference, Krabi, Thailand: 2013.

[16] 何志勤, 张哲, 尹项根, 等. 电力系统广域继电保护研究综述[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(5): 125 - 129.

[17] Paolo Castello, Paolo Ferrari, Alessandra Flammini, et al. A New IED with PMU Functionalities for Electrical Substations [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 2013, 62(12): 3209 - 3217.

[18] Liu Yiqing, GAO Houlei, Wei Xin, et al. Study on New

Type of IED with Integrated Functions in Intelligent Substation [C]//The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, Beijing, China: 2011.

作者简介:

姜晨(1991), 硕士研究生, 从事变电(配电)运检工作;

纪礼君(1989), 硕士研究生, 从事变电(配电)运检工作。

(收稿日期: 2017-11-09)

=====

(上接第62页)

### 参考文献

## 4 结 语

综上所述, 将四川某500 kV变电站的主变压器分别简化为体声源、面声源和点声源, 分析不同简化声源随距离的衰减特性, 得出如下结论:

1) 在不考虑声波之间的相位影响, 仅考虑声波的能量叠加时, 采用 Cadna/A 软件和噪声导则推荐模式的计算结果一致。

2) 距体源、面源、点源相同距离处的噪声声压级差异较小, 最大差值仅为 0.9 dB(A), 噪声接受点的声压级大小主要取决于各声源的总声功率级大小。

3) 在近声场 ( $L \leq 5$  m) 面源特征较明显, 体源噪声衰减最慢, 面源其次, 点源衰减较快,  $L$  相同时, 声压级从大到小依次为体源、面源、点源; 而在远声场 ( $L \geq 35$  m), 各声源衰减规律一致, 声源的总声功率级起决定性因素,  $L$  相同时, 声压级从大到小依次为点源、面源、体源。

4) 体源的5个组成面源中, 垂直面源随距离衰减较快, 平行于地面的面源衰减较慢, 总声功率级相同的两个垂直面源, 随着  $L$  增大,  $\Delta L$  可逐渐忽略不计, 在噪声接受点的噪声声压级趋于相同, 平行于噪声接受点与主变压器中心连线的面源, 点源特征较明显, 在远声场 ( $L \geq 35$  m) 的噪声声压级最小。

由于 Cadna/A 软件在模拟过程中未考虑声波之间的相位干涉影响, 故软件预测值与变电站实际运行过程中的噪声监测值可能存在一定的差异, 在下一阶段应结合变电站噪声监测结果分析其差异性, 并进一步探讨预测优化方案。

[1] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[2] 陈俩, 陈双, 许超等. 500 kV 变电站噪声特性及控制[J]. 四川环境, 2015, 34(2): 80 - 84.

[3] 孙宇晗, 莫娟, 曹枚根, 等. 基于噪声控制的变电站平面布置优化设计[J]. 电力建设, 2013, 34(12): 18 - 23.

[4] 林旗力, 唐蕾, 施华彪, 等. 500 kV 变电站噪声控制措施比较研究[J]. 电力科技与环保, 2013, 29(6): 4 - 6.

[5] 齐飞, 余寒, 华伟. Cadna/A 在江苏500 kV 变电站噪声环境预测中的应用[J]. 科技创新与应用, 2015(4): 6 - 7.

[6] 黎文辉. 高压变电站噪声污染预测与防治技术研究[D]. 广东: 广东工业大学环境科学与工程学院, 2015.

[7] 阮学云, 魏浩征, 李志远, 等. 户外噪声相干预测模型及其工程应用[J]. 中国环境科学, 2015, 35(6): 1877 - 1884.

作者简介:

严青(1988), 硕士、工程师, 研究方向为环境噪声防治;

佟如意(1981), 硕士、高级会计师, 研究方向为公司财务管理、运营监控管理;

何清怀(1966), 本科、教授级高工, 研究方向为输变电和电厂环境污染防治;

陈笠(1985), 硕士、工程师, 研究方向为电厂污染控制。

(收稿日期: 2017-10-12)