

# 适应多种模式的配电自动化培训仿真系统

徐飞<sup>1</sup>, 刘志文<sup>2</sup>, 李志铿<sup>1</sup>, 孙浩<sup>1</sup>, 张磊<sup>1</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 南方电网科学研究院, 广州 510663)

**摘要:** 针对国内配电自动化培训和仿真的需求, 提出了一种适应多种模式的配电自动化培训仿真系统, 该系统涵盖了配电自动化的集中控制型模式和就地控制型模式, 并支持故障模拟仿真和软件培训仿真两种仿真培训模式, 其中故障模拟仿真通过主站系统与配电培训终端互动配合, 实现与真实配电自动化相一致的操作过程, 系统通过配置手持培训终端对配电培训终端进行动态监控, 为培训学员提供全方位的认知和体验, 可有效地提高教学和培训的效果。

**关键词:** 配电自动化; 集中控制型; 就地控制型; 故障模拟仿真; 手持培训终端

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)01-0096-06

## A Distribution Automation Training and Simulation System Adapted to Multiple Modes

XU Fei<sup>1</sup>, LIU Zhiwen<sup>2</sup>, LI Zhikeng<sup>1</sup>, SUN Hao<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. Electric Power Research Institute, China Southern Power Grid, Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** According to distribution automation training and simulation requirements in our country, this paper puts forward a distribution automation training and simulation system adapted to multiple modes, which covers centralized control mode and local control mode of distribution automation, and it supports fault simulation and software simulation of training mode, the fault simulation mode can realize the operation process which is consistent with the real distribution automation system by interacting between master station system with distribution training terminals. The handheld training terminals are used to monitor distribution training terminals dynamically, and a full range of knowledge and experience for this training is provided, this can improve the effect of teaching and training effectively.

**Key words:** distribution automation; centralized control mode; local control mode; fault simulation; handheld training terminal

配电自动化是提升 10 kV 配电网供电可靠性和运行管理效率的主要手段之一<sup>[1-2]</sup>, 随着我国各级电网公司持续加大对配电网领域的投资和改造力度, 越来越多的配电自动化系统投入到实际生产运行, 这需要配备大量的配电自动化运行人员。配电自动化系统能否高效运行, 配电自动化运行人员的技能水平十分关键<sup>[3]</sup>, 鉴于我国配电自动化运行人员数量增长较快, 其运行技能水平

参差不齐, 这迫切需要开发具有广泛适应性的配电自动化培训仿真系统, 全面提升配电自动化运行人员的技能水平。

我国配电自动化系统主要分为集中控制型和就地控制型两种模式<sup>[4-5]</sup>, 在配电自动化培训过程中, 从安全角度考虑, 配电自动化培训仿真系统往往采用一次系统不带电培训模式, 在这种模式下, 配电自动化培训仿真系统可分为故障模拟仿真和软件培训仿真。我国各地的配电自动化系统控制模式差异较大, 即使同一个省区的配电自动化系统可能既包括集中控制型, 同时也有就地控制型, 因此在开发配电自动化培训仿真系统时, 应涵盖这两种模式。另在一次系统不带电培训模式下, 单纯用软件

收稿日期: 2017-01-12

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(2015A030310227)

作者简介: 徐飞(1987), 男, 河南开封人, 工程师, 硕士, 主要从事配电系统规划及自动化工作(e-mail)xufei@gedi.com.cn。

培训仿真进行培训, 不能给学员真实的体验, 因此需要结合配电终端和主站系统, 研究开发能带给学员真实体验的故障模拟仿真模式, 从而在确保安全的情况下, 有效的提升学员的配电自动化系统运行技能水平。

目前我国开发的配电自动化培训仿真系统大多关注集中控制型的模式, 并且在培训过程中大多采用软件培训仿真模式, 难以给学员真实体验, 制约了培训的效果<sup>[6-8]</sup>。本文根据我国配电自动化实际培训仿真的需求, 提出覆盖配电自动化集中控制型和就地控制型模式的培训仿真系统, 并且包含了软件培训仿真和故障模拟仿真两种模式, 属于一种适应多种模式的配电自动化培训仿真系统。

## 1 系统整体架构

本文所研究开发的适应多种模式的配电自动化培训仿真系统总体体系架构如图 1 所示, 其中每条 10 kV 培训线路的配电监控和仿真数据, 均通过光纤通信环网上传至培训仿真主站系统; 在主站系统侧, 将分别配置综合服务器、调度员培训工作站、故障设置工作站和监视工作站, 其中综合服务器不仅涵盖了实际配电自动化主站中前置服务器、

SCADA 服务器、历史服务器等所具备的功能, 同时还包括配电自动化培训和仿真计算的功能; 调度员培训工作站提供给配电自动化运行学员使用, 主要实现对配电自动化系统的仿真操作; 故障设置工作站提供给培训教师和上级考核人员使用, 用来实现对配电线路故障的设置, 为学员的操作设定故障场景; 监视工作站主要用于监视学员操作的过程, 为学员考核评分提供依据。

## 2 主站体系结构

主站系统是实现配电自动化培训与仿真的核心, 本文所研究的适应多种模式的配电自动化培训仿真主站系统体系结构从纵向来看, 可分为基础平台、支撑平台、应用功能和高级应用功能, 其总体体系架构如图 2 所示。

图 2 中应用功能包括配电 SCADA、馈线自动化、网络拓扑、状态估计、潮流计算、网络重构等配电自动化传统功能, 能够实现配网一次系统真实带电情况下的故障处理操作, 即具备真实配电自动化系统的基本功能<sup>[9-10]</sup>。由于一次系统带电情况下的培训操作存在安全的隐患, 为了确保培训过程中的安全性, 主站系统在普通应用功能的基础上, 重

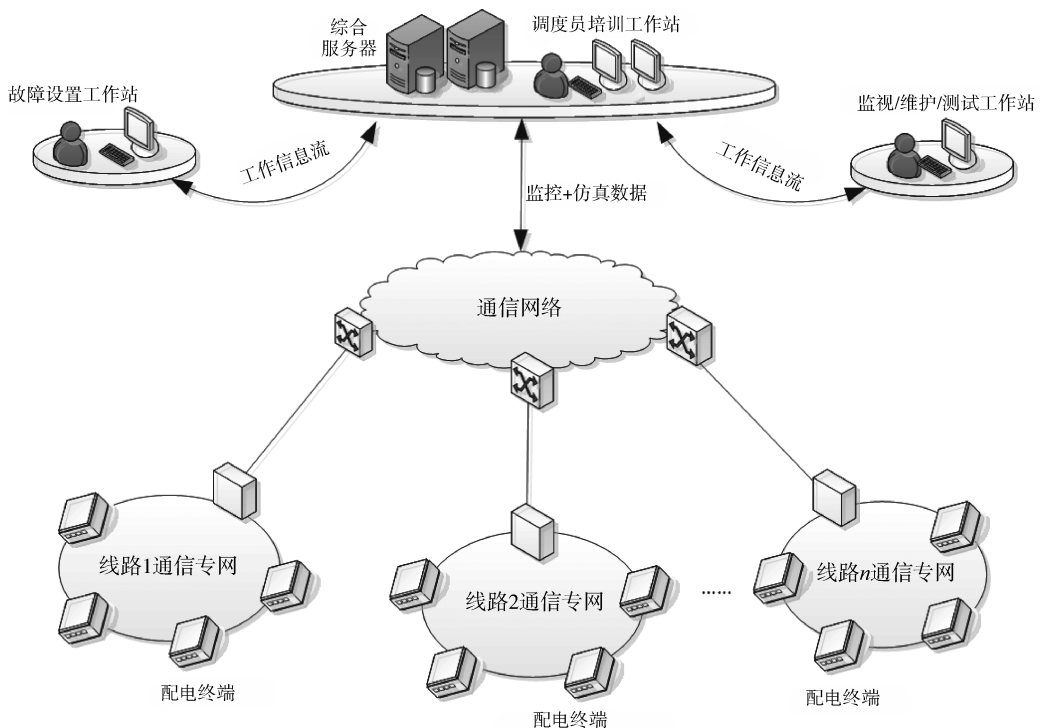


图 1 配电自动化培训仿真系统总体架构

Fig. 1 Overall architecture of the distribution automation training & simulation system

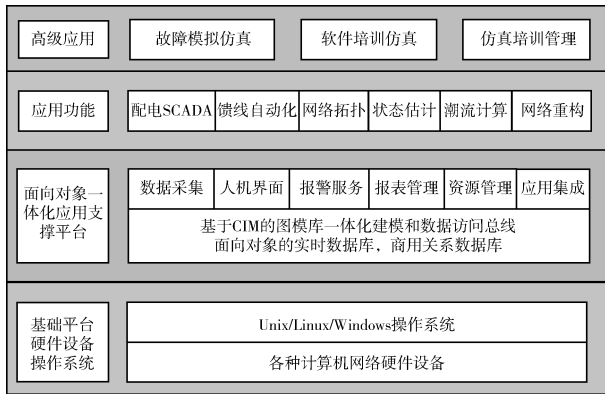


图2 培训仿真主站系统功能架构

Fig. 2 Functional architecture of the training & simulation system

点研究和开发了故障模拟仿真、软件培训仿真、仿真培训管理等高级应用功能，其中故障模拟仿真能在一次系统不带电情况下，根据故障工作站设置的故障场景，通过主站系统与配电终端之间的相互通信和逻辑处理，实现与一次系统真实故障完全一致的故障处理操作过程；而软件培训仿真主要通过纯软件功能方式，在主站系统侧为学员提供模拟界面操作；仿真培训管理则主要实现学员培训过程管理、考核评分、教案记录等辅助功能。

### 3 系统仿真实现

#### 3.1 故障模拟仿真

如图1所示，当用于培训的配网一次设备不带电的情况下，故障模拟仿真能够针对配网不同的运行方式和故障场景进行时域仿真，并将仿真数据（电流、电压等）下发或赋值给各配电终端。在故障模拟仿真过程中，配网故障由主站系统侧的故障设

置工作站设置，主站系统通过对所设置故障场景进行仿真，将故障的仿真数据下发或赋值给各配电终端，配电终端能根据故障数据触发，并与主站系统的配电 SCADA 和馈线自动化功能相配合，完成与真实带电时相一致的配电自动化功能。

为了更清楚说明故障模拟仿真的实现过程，本文将配网一次设备带电和带电情况下的配电自动化系统数据交互加以分析比较，其中一次设备带电和带电情况下的配电自动化系统数据交互图分别如图3和图4所示。

如图3和图4所示，一次系统带电情况下的数据均采自配网的实际运行数据，配电自动化仿真操作过程与实际配电自动化的监控过程并无差异。相比一次系统带电情况，不带电情况下的故障模拟仿真的数据来源于综合服务服务器的仿真计算数据和故障设置工作站的故障数据，这两种数据都将由主站系统自上而下方式下发给配电培训终端设备，其中培训 DTU 和 FTU 可根据下发的仿真数据对一次开关设备进行操作，当培训配电终端获取从故障设置工作站下发的故障数据后，将立即自下往上进行触发，主站侧将根据配电自动化模式（集中控制型和就地控制型）执行配电 SCADA、馈线自动化等应用功能，从而实现与一次设备真实带电情况相同的配电自动化系统操作。

为了确保故障模拟仿真操作与配网一次系统实际带电情况相一致，该仿真模式下的仿真数据计算应能根据配网实际的拓扑结构和设备参数，分别对配网不同运行方式和故障场景进行计算，这样计算获得的数据才能与配网真实带电的情况相吻合。另

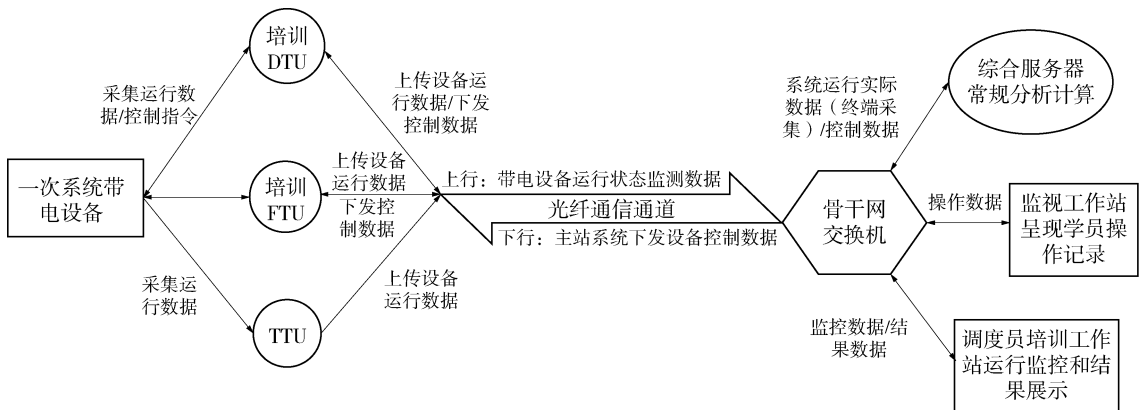


图3 一次设备带电情况下数据交互图

Fig. 3 Data interaction diagram of the energized Primary Equipment

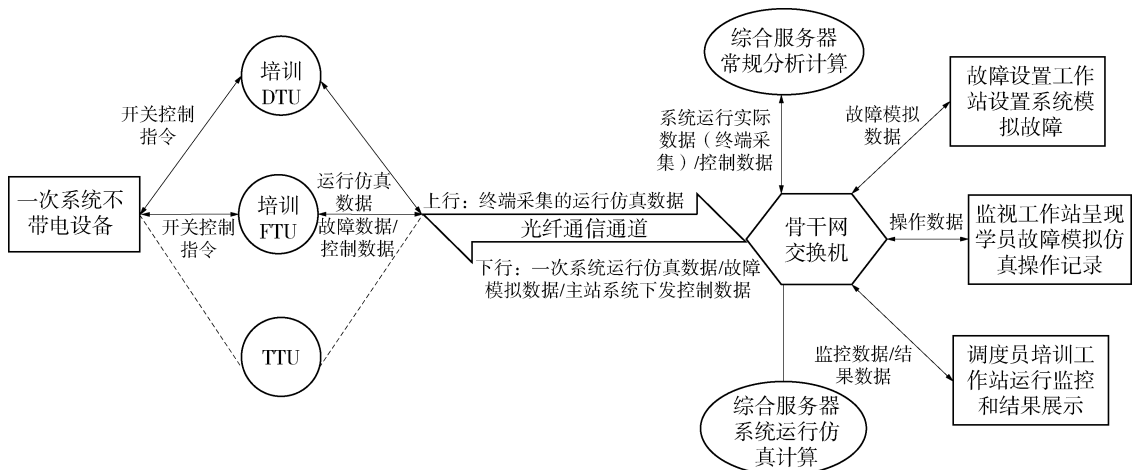


图 4 一次设备不带电情况下数据交互图

Fig. 4 Data interaction diagram of the de-energized Primary Equipment

外, 在故障模拟仿真模式下, 主站系统可实现故障模拟仿真与真实带电配电自动化操作的灵活切换; 在故障模拟仿真过程中, 配网的运行状态和相关的电网参数能够实时、动态的呈现给参与培训的配网调度人员, 并且学员的操作记录能自动记录并可呈现给监视工作站。

### 3.2 软件培训仿真

受限于配网培训一次系统的建设规模, 故障模拟仿真主要用于典型配网的培训仿真操作, 带给学员真实的体验。而对于大规模配电系统的仿真培训操作, 则主要通过软件培训仿真功能来实现。软件培训仿真不涉及到与真实配电终端之间互动过程, 能够在不影响仿真系统其他功能正常运行的前提下, 利用培训仿真平台提供的多态多应用机制建立模拟环境, 能为学员提供具有逼真的仿真界面, 达到对配调人员的培训作用<sup>[11-12]</sup>。

软件培训仿真在调度员工作站上运行, 能够模拟对变电站、开关站(开闭所)、环网柜、开关等的控制操作。在模拟状态下, 可以任意拉合开关进行模拟停电范围的分析, 开关状态变化后线路和设备会根据供停电状态动态着色, 直观反映模拟电网情况; 可人为设置假想故障, 并能模拟故障的处理过程, 包括故障定位、隔离过程及主站的恢复策略的预演等; 可实现对计划检修、保电、运行方式倒换等操作方案的仿真; 可实现对各种设备模拟量、数字量的仿真设置。在软件培训仿真过程中, 配调培

训人员的操作记录由仿真系统自动记录并可呈现给监视工作站。

## 4 配电培训终端装置

### 4.1 站所培训终端 DTU

在本文所研究的适应多种模式的配电自动化培训仿真系统中, 在一次系统真实带电情况下, 培训 DTU 能够与仿真主站系统配合完成与实际配电自动化系统相同的监控功能; 在一次系统不带电情况下, 培训 DTU 通过与故障模拟仿真功能相配合, 完成如图 4 所示的数据交互, 实现与一次系统真实带电情况相一致的配电自动化仿真监控操作。由此可见, 培训 DTU 首先应具备仿真功能模式切换开关, 可在一次系统带电和不带电情况下切换, 并且支持主站系统遥控切换, 也可通过终端装置上的切换开关现场切换。

培训 DTU 的主要仿真功能如下:

1) 在故障模拟仿真模式下, 培训 DTU 可接收主站系统侧设置的故障点、故障类型和故障仿真动态数据, 配合主站系统完成故障仿真功能。

2) 培训仿真操作过程中, 培训 DTU 应支持通过无线通信与手持培训终端进行信息交互, 接收手持培训终端的实时监测, 故障仿真结果可视。

3) 培训 DTU 可接收主站系统初始化指令实现培训终端的初始化或复位, 并且仿真功能不影响实际一次设备的运行。

## 4.2 馈线培训终端 FTU

与站所培训终端 DTU 一样, 馈线培训终端 FTU 终端应同时具备一次系统带电情况下的配电自动化监控功能和不带电情况下的故障模拟仿真功能, 并且也具备与培训 DTU 类似的仿真功能模式切换开关。由于本文研究的配电自动化培训仿真系统即可实现集中控制型配电自动化模式, 同时还能实现就地控制型的配电自动化模式, 从配电终端来说, 要实现两种模式, 培训 FTU 除了支持集中式馈线自动化(FA)功能, 还应实现就地重合式馈线自动化功能。

根据培训的实际需求, 具备就地重合式 FA 功能的培训 FTU 应同时支持电压-时间型和电压-电流型两种模式, 这需要培训 FTU 具备 FA 模式切换开关, 既包括集中控制型与就地控制型之间的切换, 也包括电压-时间型和电压-电流型之间的切换。另外, 在培训仿真过程中, 同样支持通过无线通信与手持培训终端进行信息交互, 接收手持培训终端的实时监测, 故障仿真结果可视, 从而为配电自动化运行人员提供更加真实和直观的培训体验。

## 4.3 手持培训终端

本文所提出的适应多种模式的配电自动化培训仿真系统, 对于学员培训和仿真操作的结果, 除了可通过主站侧的调度员培训工作站和监视工作站获取外, 还可通过手持培训终端从配电培训终端侧获取。手持培训终端是类似于平板电脑(PAD)的终端装置, 其通过无线方式与配电培训终端进行通信, 实现对配电培训终端动态监测, 以满足对配电终端现场监测和维护的培训需求, 其与配电培训终端的通信示意图如图 5 所示。

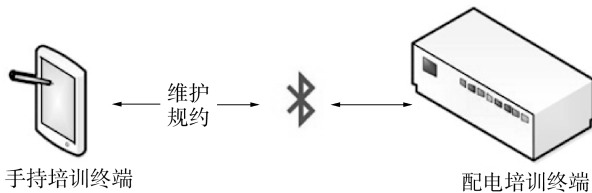


图 5 手持培训终端与配电培训终端通信

Fig. 5 Communication between the hand held training terminal and the distribution training terminal

如图 5 所示, 手持培训终端可通过蓝牙无线通信方式对就近的配电培训终端进行监测, 其主要培训功能如下:

1) 可浏览配电培训终端的基本信息、运行状态信息、告警信息, 支持装置运行中的动作事件、操作事件、告警事件等事件查询。

2) 支持查看各回线的遥测(电压、电流等)、遥信实时数据, 同时可以支持人工置数。

3) 支持终端设备装置地址、网络地址等参数设定, 并可设置各回线保护定值。

4) 支持本机遥控、装置复归、信号复归等操作, 同时支持与配电终端的文件传输功能。

由手持培训终端的主要功能可知, 手持培训终端从配电培训终端侧提供一种便捷的培训和仿真结果获取方式, 加上主站侧的调度员培训工作站和监视工作站, 本文所研究的配电自动化培训仿真系统为学员提供从主站系统到配电终端全方位的培训和仿真方法。

## 5 结论

本文根据我国各级电网公司对配电自动化培训仿真的实际需求, 提出一种适应多种模式的配电自动化培训仿真系统, 该系统涵盖了配电自动化集中控制型模式和就地控制型模式, 并支持故障模拟仿真和软件培训仿真, 其中故障模拟仿真在一次培训系统不带电的情况下, 通过主站系统与配电培训终端之间的模拟互动配合, 实现与真实配电自动化相一致的仿真操作过程。此外, 所提的培训仿真系统通过配置手持培训终端, 采用蓝牙无线通信方式对配电培训终端进行动态监控, 这将有效加深学员对配电自动化的认识和感受, 同时也将大幅提升培训效果。

### 参考文献:

- [1] 徐丙垠, 李天友, 薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 38-41.  
XU B Y, LI T Y, XUE Y D. Smart distribution grid and distribution automation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 38-41.
- [2] 曲毅, 魏震波, 向月, 等. 智能电网配电自动化技术的发展[J]. 南方电网技术, 2013, 7(5): 56-60.  
QU Y, WEI Z B, XIANG Y, et al. The development of power distribution automation technology in smart grid [J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(5): 56-60.
- [3] 朱伟. 配电运行管理仿真培训系统设计[J]. 中国电力教育, 2005(4): 122-125.  
ZHU W. Design of simulation training system for distribution

- operation management [J]. China Electric Power Education, 2005(4): 122-125.
- [4] 刘海涛, 赵江河, 苏剑. 基于 ESB 的配电网自动化及管理系统信息集成 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(16): 47-51.  
LIU H T, ZHAO J H, SU J. ESB based information integration of distribution automation and management system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(16): 47-51.
- [5] 姚建国, 周大平, 沈兵兵, 等. 新一代配电网自动化及管理系统的设计和实现 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(8): 89-93.  
YAO J G, ZHOU D P, SHEN B B, et al. Design and implementation of a new generation distribution automation and management system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(8): 89-93.
- [6] 孙宏斌, 张伯明, 吴文传, 等. 面向地区电网的调度员培训仿真系统 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(2): 49-52.  
SUN H B, ZHANG B M, WU W C, et al. A new dispatcher training simulator developed for sub-transmission power network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(2): 49-52.
- [7] 吴俊华, 温彦军, 赵月, 等. 配电网自动化在线仿真系统技术论述 [J]. 电力自动化设备, 2006, 26(4): 50-53.  
WU J H, WEN Y J, ZHAO Y, et al. Technology of online simulation system for distribution automation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(4): 50-53.
- [8] 刘强, 李双虎. 配电网自动化仿真系统的设计与实现 [J]. 计算机仿真, 2006(11): 215-217.  
LIU Q, LI S H. Design and realization of distribution automation simulation system [J]. Computer Simulation, 2006(11): 215-217.
- [9] 刘建. 配电网自动化系统 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [10] 陈堂. 配电系统及其自动化技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [11] 陈健. 配网自动化主站系统研究 [D]. 济南: 山东大学, 2006.

(责任编辑 郑文棠)

(上接第 80 页 Continued from Page 80)

- [5] 李谦, 彭向阳, 钟定珠. 线路避雷器在广东电网输电线路异常运行情况的分析 [J]. 广东电力, 2006, 19(6): 43-47.  
LI Qian, PENG X Y, ZHONG D Z. Abnormal operation analysis of transmission line arresters in Guangdong power grid [J]. Guangdong Electric Power, 2006, 19(6): 43-47.
- [6] 万帅, 陈家宏, 谭进, 等.  $\pm 500$  kV 直流输电线路用复合外套串联间隙金属氧化物避雷器的研制 [J]. 高电压技术, 2012, 38(10): 2714-2720.  
WAN S, CHEN J H, TAN J, et al. Development of polymeric MOA with no-supporting series gap for  $\pm 500$  kV DC transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(10): 2714-2720.
- [7] 李振, 余占清, 何金良, 等. 线路避雷器改善同塔多回路线路防雷性能的分析 [J]. 高电压技术, 2011, 37(12): 3120-3128.  
LI Z, YU Z Q, HE J L, et al. Line surge arrester improving lightning protection performance of transmission lines with multi-circuits in a tower [J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(12): 3120-3128.
- [8] 电力工业部. 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合: DL/T 620—1997 [S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.  
Ministry of Power Industry. Overvoltage protection and insulation coordination for AC electrical installations: DL/T 620—1997 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [9] Electric Power Research Institute. Transmission line reference book—200 kV and above. [M]. 3rd ed. California: EPRI, 2005.
- [10] YAMADA T. 雷电过电压计算用的铁塔模型 [J]. 日本电气学会论文月刊, 1994, 144(6): 595-600.
- [11] 中国电力企业联合会. 1 000 kV 特高压交流输电工程过电压和绝缘配合: GB/Z 24842—2009. [S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.  
China Electricity Council. Overvoltage and insulation coordination of 1 000 kV UHV AC transmission project: GB/Z 24842—2009 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.

(责任编辑 高春萌)