

## 配电网网格化自动成图的实现

陈 兵, 赵肖旭, 施伟成, 马海涛, 王昊炜, 笪 涛

(国网江苏省电力公司镇江供电公司, 江苏 镇江 212001)

**摘要:**为给调控员的调控运行工作提供良好的人机界面,实现无人干预或者少人干预的图形维护工作,提出了网格化的自动成图概念。文中主要介绍了网格化自动成图的实现方法及应用效果,先是给出了系统的总体框架,然后详细介绍了模型抽取、节点布局和图形布线三项自动成图的基本过程,同时针对各种类型的图形成图作了相关阐述,并以单线图、系统联络图为例分别叙述了树状层次布局、边界层次布局算法及通道轨道布线算法的具体应用情况,最后展示了网格化自动成图的应用效果。

**关键词:**配电网;网格化;自动成图;布局算法;布线算法

**中图分类号:** TM73

**文献标志码:** B

**文章编号:** 2096-3203(2017)06-0100-06

### 0 引言

配电网是城市的关键基础设施,是连接电网与用户的重要纽带,具有点多、线长、面广、结构复杂、管理环节交叉等基本特点<sup>[1,2]</sup>,长期以来配电网的运行管理相对薄弱。为提升精益化管理水平,规范配电网目标网架及其过渡过程,我国部分省份正在全面推广应用“单元制”规划方法开展配电网规划,以指导配电网建设和用户接入,促进按单元开展配电网调控管理、日常运维管理和抢修管理。

为给调控运行工作提供良好的人机界面,便于调度员清晰明了地掌握网格内的设备运行状态、联络开关运行位置、电源点情况,需绘制单元格联络示意图,但仅仅依靠人工绘制,工作量大同时还无法保证图形的实时更新,反而会给自动化运维员及调控员带来困扰,这里提出网格化的自动成图<sup>[3]</sup>,可实现无人干预或者少人干预的图形维护工作。

网格化自动成图区别于传统配网自动成图方式,成的不是配电网的全图,而是在网格化单元制的规划逐步推广后,可根据网格的划分,自动生成单线图、网格图而非全网图。本文所述的网格化自动成图,作为支撑配电网网格化调控运行的重要技术手段,实现起来更容易,自动成图的效果更好。

### 1 总体框架

配电网网格化自动成图工具是基于主站平台部署的独立软件模块,一般部署在配网工作站上,无需新增其他硬件设备,其总体框架如图1所示。通过不同图形的需求抽取模型,再进行预处理及布局布线过程,最后进行整图修正,生成专题图。可以通过一建导入功能实现主站平台的集成。

### 2 实现过程

配电网网格化自动成图包括3个基本过程:模

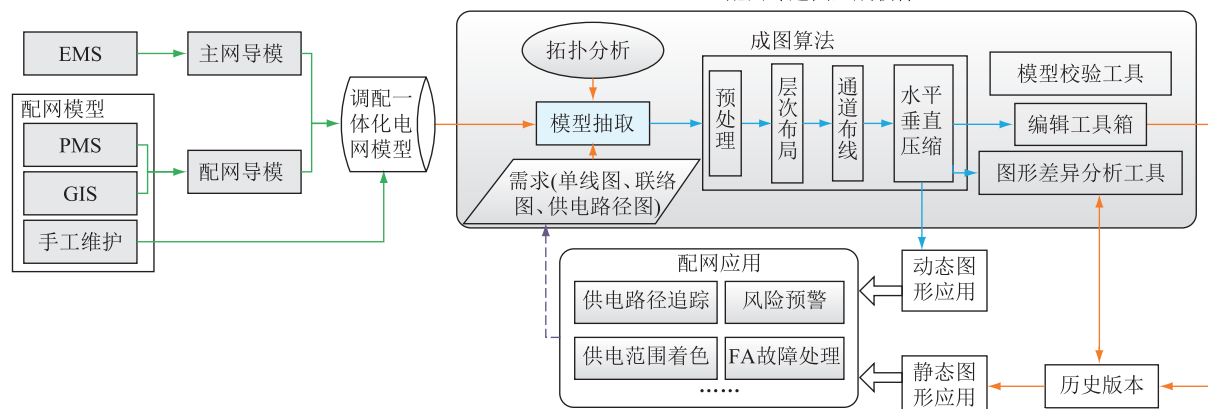


图1 总体框架

Fig.1 Diagram of overall frame

型抽取、层次布局和通道布线<sup>[4-8]</sup>。本节将详细介绍其关键实现方法,同时针对各种类型的图形成图作相关阐述。

### 2.1 模型抽取

模型抽取过程基于特定的需求(站所图、单线图、联络图、区域图等)从配电自动化主站 D5200 系统中查询出对应的设备集合,根据获得的设备集合构建出成图需求的中间格式文件,如图 2 所示。根据前台提供的需求类型及参数对象,请求不同的拓扑服务,获得不同的设备列表。文中主要列举了单线图、联络图等类型,也可以支持多种扩展。该过程根据获得的设备列表查询其对应的各种属性(名称、ID、节点号、颜色、所示馈线等),组装成自动成图应用可以接受的中间格式文件。

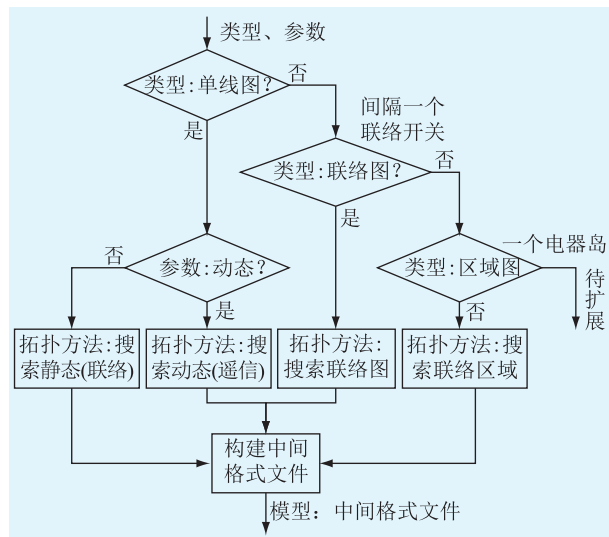


图 2 模型抽取流程

Fig.2 Diagram of model extraction process

### 2.2 层次布局

在完成模型抽取,构建成中间格式文件后,即可进行层次布局工作。

解析中间格式文件,根据设备对象及其节点号,构建设备对象,以边抽象表述各个设备;再根据节点的类型(母线节点、边缘节点、普通节点等),遍历各个母线节点,以母线为环网柜中心,静态拓扑出该环网柜所有的节点对象(不经过电缆),构建环网柜对象,以节点抽象表述<sup>[9,10]</sup>。

在完成各个节点、边对象的构建后,进行基于节点的宽度优先(BFS)遍历,分配各个节点对象的逻辑坐标,并进行一定的上下移动后,即完成了初步布局工作<sup>[11,12]</sup>。

下一步,可考虑根据一定的规律对象进行节点的优化调整(位置),从而使整体布局更加平整。此修正过程初步考虑主要依据节点类型及节点的度

信息进行,如图 3 所示。

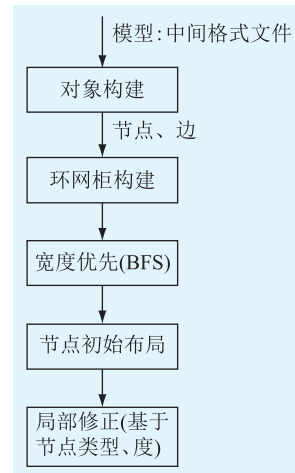


图 3 层次布局过程

Fig.3 Schematic diagram of hierarchical layout

### 2.3 通道布线

图形布线的工作在于完成各个节点之间连线的处理。文中主要增加了通道对象,以方便各个“线”对象的布局。

首先,各个节点对象完成初始布局后,需计算各个节点所占的最大方格数( $N \times M$ ),即为整个图形的节点大小,根据节点坐标及节点位置大小,增加水平、竖直通道,重新进行坐标变换,放置各个节点对象。

其次,依次遍历边对象,根据各个边两端的节点对象,判断其类型及相对位置。由于节点布局时采用了宽度优先的分层布局,可以指定左侧、右侧节点,保证两节点的相对位置为:水平、竖直、右上、右下 4 种。

根据获得节点类型及相对位置信息,即可完成通道的分配及轨道的排序。

由于除站房内设备为“点”对象,其他设备都为“线”对象,完成布点及布线后,即确定各个设备的位置情况。布置图元进行图形展示时,两端节点直接的线位置上放置图元,图元两侧可考虑增加连接线;在完成全图布局后,对任何一个节点对象,如果其度为 2,且两端都往连接线的情况,则将连接线进行合并处理。通道布线过程如图 4 所示。

## 3 成图算法的应用

网格化自动成图工具的成图过程如图 5 所示。图 5 中的成图算法(布局布线)在于寻求一个合适的解,非最优解<sup>[13-15]</sup>。本文使用的布局算法分为两类:树状层次布局和边界层次布局。布线算法为统一的通道轨道法。

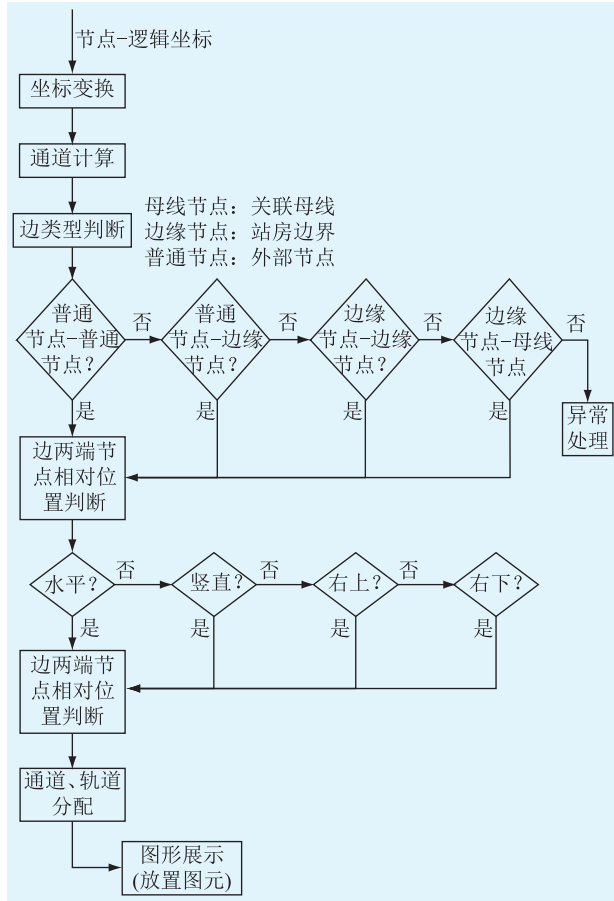


图4 通道布线过程

Fig.4 Schematic diagram of channel routing process

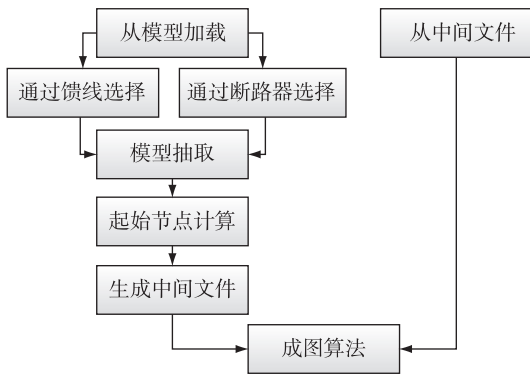


图5 成图过程示意图

Fig.5 Diagram of the mapping process

树状层次布局以广度优先搜索为基础,针对电网模型节点依次遍历,初次分配各个节点所属层(即竖直坐标),再通过父子节点关系调节各个节点的水平坐标,初步确定各个节点的一次坐标,再通过构建的开关站对象及其一次坐标,计算出每个具体节点的二次坐标,即获得节点对象的最后逻辑坐标。

边界层次布局以初始的边界节点为目标围成一个矩形,各个边界节点通过排列组合计算出最优的排序并指定一次坐标。再根据与已确定坐标点

的连接关系持续迭代其他未确定坐标的点的一次坐标,通过从外向内的层次推进点的坐标,直至所有节点分配了一次坐标,再通过构建的开关站对象及其一次坐标,计算出每个具体节点的二次坐标,即获得节点对象的最后逻辑坐标。

布线算法为统一的通道轨道法。在完成各个节点的一次布局后,预先保证了各个节点一次坐标的上下左右4个方向各留有一个通道,以方便布线;完成各个节点的二次布局后,由统一的布线管理器负责管理各个通道,每个通道由多个轨道组成,每个轨道可进行布线。在布线时,需向布线管理器集中申请可用的轨道对象,轨道使用后由布线管理器进行登记。

### 3.1 单线图

布局算法为树状层次布局,主要应用于单线图的成图,其过程如图6所示。单线图成图的布局布线算法主要包括8个过程。

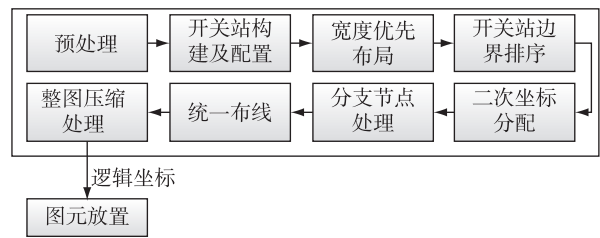


图6 单线图成图原理

Fig.6 Schematic diagram of single line drawing

(1) 预处理。成图算法是基于电网拓扑结果来完成,难以保证各个模型的正确性和绘图的合理性。预处理过程主要是确保两个母线之间没有通过一个节点可达的情况,即两个母线之间要么直接相连,要么通过两个或多个节点对象可达。

(2) 开关站构建及配置。根据模型中的母线对象及其拓扑关系,计算出各个母线节点与其直接相连的开关或馈线段集合,以开关站对象描述内部的母线开关组集合<sup>[16,17]</sup>。

(3) 宽度优先布局。从起始节点开关,宽度优先遍历所有节点对象(开关站对象以整体表示),初步分配各个节点对象(或开关站)的竖直坐标;再根据相邻层的连接关系调节各个节点水平坐标。

(4) 开关站边界排序。根据宽度优先布局完成后的各个节点对象和开关站对象的一次坐标及开关站边界节点的连接关系,统筹分配各个边界节点的排序。这里考虑以根据位置自动排序为主,也可以根据配置信息按开关名称进行排序。

(5) 二次坐标分配。根据开关站边界的排序结果,分配开关站内开关的边界节点的二次坐标,同

时更新其他节点的二次坐标。

(6) 分支节点处理。对开关站外部的多度节点(度大于等于3,即分支情况)进行处理,分支节点根据连接的外部节点数量进行“分裂”,以“假”开关站的形式统一构建分裂出的虚拟节点的属性,便于统一布线。

(7) 统一布线。根据排序后的节点位置及可用的通道轨道信息,集中申请-分配-登记可用的轨道,以节点列表的方式描述各个“边”对象的布线过程。

(8) 整图压缩处理。根据整图的布局、布线结构,计算整图的最大最小位置进行平移,保证整体的位置紧凑。

### 3.2 馈线联络图

布局算法为边界层次布局,主要应用于馈线联络图的成图,其过程如图7所示。其中,二度节点删除过程是对现场馈线段过“细”的情况,算法进行了二度节点删除操作,即删除所有两馈线段直接相连的对象,进行图形变换,以使图形相对简洁;一次节点分配过程是根据边界节点围成的矩形,边界层次布局算法依次布局内部节点对象,同时进行开关站边界排序。其余过程同单线图处理。

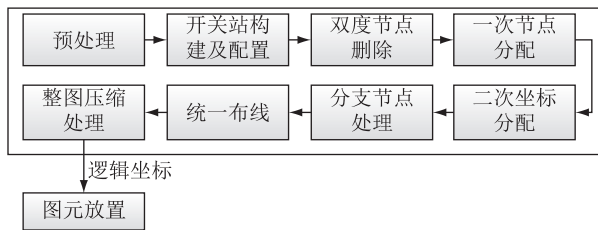


图7 馈线联络图成图原理

Fig.7 Schematic diagram of feeder connection diagram

## 4 成图效果

网格化的自动成图的单元格总览,如图8所示。单元格根据“差异化指导规划”的思想,综合考虑负荷密度、行政级别等因素划分而成。

如图9所示,通过模型抽取结果以原始的点线结构进行成图,绿色空圆:主网节点,红色圆:配网母线节点,绿色圆:配网配变,黑色空圆:普通配网节点;黑线:配网馈线段;红线:配网开关,红线(虚):开关状态为开,这些含义可根据习惯统一调整。

图10所示即为最后达到的单元联络图,系统内可以按照不同的电源点及馈线分别进行拓扑着色,便于调控员进行区分。



图8 单元格总览

Fig.8 Diagram of unit map overview

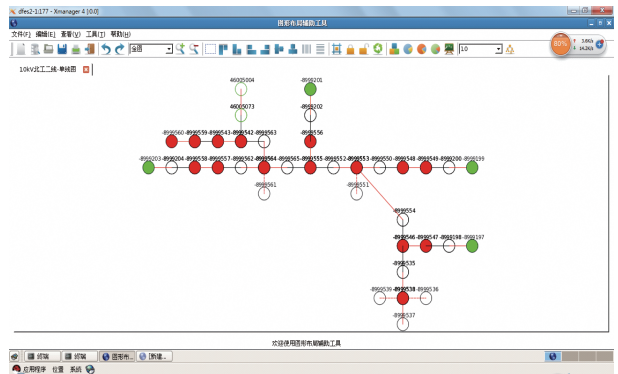


图9 图拓扑辅助校验

Fig.9 Diagram of graph topology check

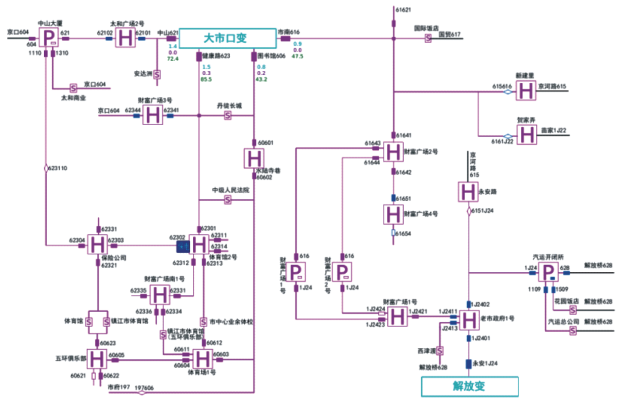


图10 单元联络图

Fig.10 Diagram of unit connection

## 5 网格化 FA 故障处理的工程应用

某日,某单元格内金港10号环网柜和金港8号环网柜之间的电缆线路发生永久性相间短路故障。如图11所示,该单元格内电源点主要来自三座变电站的4条出线,他们之间分别有3个联络点,分别为:1F271Y46,2731F27,2761F27开关,单元格对外无任何联络,该单元格FA投的是交互模式。

事故发生后,基于网格化的FA成功动作,准确判断故障点位于1F2702-1F2703开关之间,如图12所示。

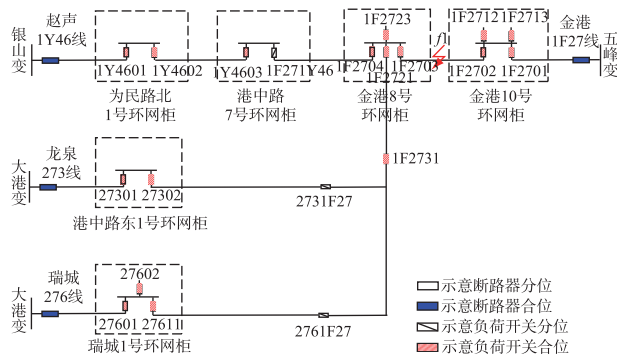


图 11 单元格接线示意图

Fig.11 Diagram of cell junction

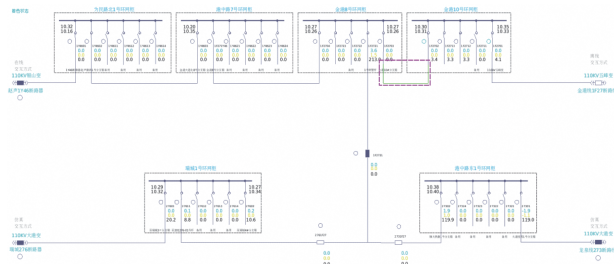


图 12 故障点指示

Fig.12 Fault point indication

同时,系统给出故障范围判断依据、隔离及恢复供电方案。按照系统提示,逐步进行故障隔离、负荷转供,即实现了对于故障的半自动处理。

## 6 结语

本文提出了网格化自动成图这一概念,并就具体如何实现给出了设计思路以及算法说明,从应用效果可以看出,自动成图、工程应用效果较好。通过网格化自动成图的推广应用,可明显提高工作效率,减少人员维护量。但未来基于网格化的理念,如何更好服务于配电网规划、配网故障抢修指挥等领域,还需进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 刘健,倪建立,邓永辉. 配电自动化系统[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003.  
LIU Jian, NI Jianli, DENG Yonghui. Distribution automation system[M]. Beijing:China Water & Power Press, 2003.
- [2] 王守相,王成山. 现代配电系统分析[M]. 北京:高等教育出版社, 2007.  
WANG Shouxiang, WANG Chengshan. Modern distribution system analysis[M]. Beijing:Higher Education Press, 2007.
- [3] 李晓凯,周长建,许和炎. 配电网管理中的自动制图研究[J]. 继电器, 2008(6):65-67,70.  
LI Xiaokai, ZHOU Changjian, XU Heyan. A new automatic mapping algorithm in power distribution management[J]. Relay, 2008(6):65-67,70.
- [4] 廖凡钦,刘东,闫红漫,等. 基于拓扑分层的配电网电气接

线图自动生成算法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(13):174-181.

LIAO Fanqin, LIU Dong, YAN Hongman, et al. An automatic electrical diagram generation method for distribution networks based on hierarchical topology model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(13):174-181.

[5] 盛方正,常闻,陆超杰,等. 自动成图在配网自动化系统中的研究及应用[J]. 华东电力, 2014, 42(10):2152-2156.

SHENG Fangzheng, CHANG Wen, LU Chaojie, et al. The research and application of automatic mapping in distribution automation system[J]. East China Electric Power, 2014, 42(10):2152-2156.

[6] 吴丽贤,邓肃. 基于GIS的配网单线图自动成图算法[J]. 信息技术, 2016(8):155-158.

WU Lixian, DENG Su. Automatic mapping algorithm for single line diagram of distribution network[J]. Information Technology, 2016(8):155-158.

[7] 陈连杰,赵仰东,韩韬,等. 基于层次结构及模型驱动的配电网图形自动生成[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1):226-232.

CHEN Lianjie, ZHAO Yangdong, HAN Tao, et al. Hierarchically structured and model driven automatic generation of distribution network graphs[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1):226-232.

[8] 梁寿愚,方文崇,唐羿轩,等. 基于CIM模型的电力系统全景视图生成研究[J]. 南方电网技术, 2016, 10(6):20-26.

LIANG Shouyu, FANG Wenchong, TANG Yixuan, et al. Research on CIM based panorama generating of power system[J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(6):20-26.

[9] ZHU Yongli, MALIK O P. Intelligent automatic generation of graphical one-line substation arrangement diagrams[J]. IEEE Transactions on Power Delivery. 2003, 18(3):729-735.

[10] ONG, Y S, GOOI H B, CHAN C K. Generation algorithms for automatic generation of one-line diagrams[J]. Transmission and Distribution, IEE Proceedings, 2000, 147(5):292-298.

[11] 张魁,王亚明,伏祥运,等. 基于“三级网格”的配电网规划方法研究及应用[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(4):51-55.

ZHANG Kui, WANG Yaming, FU Xiangyun, et al. Research and application of distribution network planning method based on “Three Level Grid”[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(4):51-55.

[12] 王峰,李颖,王春宁. 配电网线路最优分段数算法研究及应用[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(4):5-7,12.

WANG Feng, LI Ying, WANG Chuning. Research on optimal sectionalizing number of distribution lines[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(4):5-7,12.

[13] 赵冬梅,龚群,张旭. 基于组合图元的输电网单线图自动布局方法[J]. 电网技术, 2013(10):2979-2984.

ZHAO Dongmei, GONG Qun, ZHANG Xu. A grouped primitives based approach to automatic layout for single-line diagram of power transmission network[J]. Power System Technology, 2013(10):2979-2984.

- [14] 章坚民,叶 义,徐冠华. 变电站单线图模数图一致性设计与自动成图[J]. 电力系统自动化,2013,37(9):84-91.  
ZHANG Jianmin, YE Yi, XU Guanhua. Consistency design of model, data, diagram of substation one-line diagram and its auto-generation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013,37(9):84-91.
- [15] 章坚民,叶 义,陈立跃,等. 基于新型力导算法的省级输电电网均匀接线图自动布局[J]. 电力系统自动化,2013,37(11):107-112.  
ZHANG Jianmin, YE Yi, CHEN Liyue, et al. A novel force-direction algorithm and its application in automatic generation of uniformly-distributed provincial transmission power grid diagram [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(11):107-112.
- [16] 周博曦,孟昭勇,王志臣,等. 基于 CIM 的变电站与配电馈线一次接线图自动绘制算法[J]. 电力系统自动化,2012,36(11):77-81.  
ZHOU Boxi, MENG Zhaoyong, WANG Zhicheng, et al. Automatic graphing algorithm for primary electric wiring diagram of substation and distribution feeder based on CIM [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012,36(11):77-81.
- [17] 章坚民,方文道,胡 冰,等. 基于分区和变电站内外模型的区域电网单线图自动生成[J]. 电力系统自动化,2012,36(5):72-76,85.  
ZHANG Jianmin, FANG Wendao, HU Bing, et al. Regional power grid system single-line diagram automatic generation using grid dividing and internal/external substation models [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(5):72-76,85.

---

作者简介:



陈 兵

陈 兵(1975—),男,江苏镇江人,硕士,高级工程师,从事电力系统自动化运维管理工作(E-mail:13921598100@139.com);

赵肖旭(1988—),男,江苏镇江人,硕士,工程师,从事配电网调控运行工作(E-mail:zhaoxiaoxu1988@126.com);

施伟成(1966—),男,江苏镇江人,高级工程师,从事电力系统调控运行工作(E-mail:10489550@qq.com)。

## Realization of Automatic Grid Generation in Distribution Network

CHEN Bing, ZHAO Xiaoxu, SHI Weicheng, MA Haitao, WANG Haowei, DA Tao

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Zhenjiang Power Supply Company, Zhenjiang 212001, China)

**Abstract:** In order to provide a good man-machine interface for electric power control operation running, to achieve unattended or less intervention graphics maintenance work, the concept of automatic mapping is proposed. This paper mainly introduces the methods and effect of automatic mapping. Firstly, the overall framework of the system is given, and then the basic process of three automatic mapping models, which are model extraction, node layout and graph routing are introduced. At the same time, this paper makes a description of various types of automatic mapping, and taking the single line diagram and the system diagram as an example, the paper describes the application of the tree level layout, the boundary layer layout algorithm and the channel routing algorithm. Finally, the application effect of the grid automatic mapping will be showed in the paper.

**Key words:** distribution network; grid; automatic mapping; layout algorithm; routing algorithm

(编辑 方 晶)