

基于网络拓扑的图 - 数批量关联方法探讨

邱吉福, 刘国贤, 王建明, 孙峰

(华北电力大学电气工程学院, 北京 102206)

摘要: 电气主接线图广泛应用于电力系统的分析软件中, 绘制主接线图工作包括绘图部分和关联设备信息部分, 而后者按传统方式需逐个进行图 - 数关联设置。该文从分析设备编号规则和电气主接线图的间隔特点入手, 提出间隔建模的思想, 总结出面向间隔模型的图元位置序号的确定方法。根据图元位置序号并参照设备编号规则对设备进行统一编号和信息关联, 从而实现按间隔对间隔内所有设备进行一次性关联设置动作。

关键词: 批量图 - 数关联; 网络拓扑; 面向位置; 间隔模型; 编号规则

中图分类号: TM769 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)11-0049-05

0 引言

随着计算机图形技术的快速发展, 电力系统各种应用分析软件正朝着图形化方向发展, 如能量管理系统(EMS)、调度员仿真培训系统(DTS)等。对于其中十分重要的电气主接线图^[1], 以往多数软件都要求用户手工绘制, 具体包括图形绘制和关联设备信息两部分工作。近几年, 随着绘图软件不断发展, 虽然绘图方法得到很大的改进(比如出现了维护规则自动生成接线图的方法^[2]), 但作为主接线图灵魂的网络拓扑关系维护和图元、设备台帐之间的关联工作, 仍需要人工逐一设定。这是一项对准确率要求极高的十分细致的工作, 出现差错, 则会直接影响到主接线图的其它高级应用, 比如变电检修系统、工作票和操作票系统等。更为重要的是电力系统中实际厂站数目非常庞大, 所以手工设置厂站图的设备信息需要付出大量的劳动。笔者在现场获悉, 以往对一张具备30个左右间隔的主接线图进行设备关联工作需要耗费2-3个小时甚至更长时间。

实现厂站主接线图设备图元按间隔的一次性批量关联工作是一项非常有实际应用价值的研究课题。目前尚未看到有关这一课题的成果报道。本文所述的按间隔进行设备信息批量关联的方法已经成功地应用于某省电网主接线图绘制平台。

1 实现环境

笔者在分析和借鉴以往主接线图绘制软件的基础上, 基于面向对象设计思想, 自行开发了一套具备图元开放性设计特点的主接线图绘制平台。该平台

所使用的图元基于最小图素设计, 具备属性位置控制等特点, 满足电力系统全状态管理需求。平台基于C/S环境和数据库技术开发实现, 用Delphi和SQL语言实现编程和查询工作。该平台具备以下三个特点:

1) 图元设计采用内置面向连接的矢量图形, 绘制的主接线图自动具备网络拓扑连接关系。

2) 关联设备时系统自动添加编号文本框(标签)于图元右侧中间位置, 文本框大小随字数自动调整, 避免了其它绘制平台需按设备逐个调整其文本框的问题, 这个特点也很大程度上缩短了关联设备所需的时间。

3) 每个图元都有自己的设备类别属性, 可以按此属性对设备进行查询和统计, 且图元的属性内置于图元本身, 可以任意的增加和删除其属性项。

本文提出的图 - 数批量关联方法是基于该主接线图绘制平台的一种智能方法, 是平台所具备拓扑关系的一个实际应用。

2 原理分析及间隔建模

2.1 原理分析

电力系统中, 一般情况下某个设备的编号在其所属厂站内是唯一的, 确定了设备的编号就可以确定具体的设备。

本文提出的图 - 数批量关联方法是指以间隔内某设备为主设备(多为断路器, 视间隔类型而定), 利用其它设备编号与主设备编号存在的从属联系, 对其它设备进行一次性编号设置, 然后以设备编号为条件从后台数据库中查询到该设备记录, 从而一次性实现多个设备图元与后台数据库设备台帐的具

体关联工作。假定某间隔内含 N 个设备,传统方式需逐个设定,共需 N 次,使用批量关联方法,只需 1 次。

电力系统厂站的电气主接线结构是很规范的,母线接线类型和间隔类型也是有限的,经仔细分析和总结,归纳出同种间隔所包含设备的编号规则具有一定规律,可以用面向间隔模型、基于编号规则的智能网络拓扑技术来确定各种母线接线方式下间隔内设备的编号,从而实现图-数批量关联。

2.2 面向设备位置序号的编号规则维护

各个省市因地域、历史习惯不同等原因可能造成编号规则的不同,为了实现本文所述方法的开放性和适用性,需要实现编号规则的开放性维护。下面以实例叙述其具体实现方法。某省关于断路器、隔离开关及刀闸编号规则如下所述:

1) 设备编号的第一个数字代表电压等级:

电压等级	编号
2.3 ~ 3.3 kV	1
6.0 kV	2
10 ~ 20 kV	3
35 kV	4
110 kV	5
220 kV	6
...	...

2) 设备编号的第二、三个数字为断路器(开关)序号、取偶数,自 00 号编起。

3) 隔离开关(刀闸)采取从属设备和固定编号结合的原则。隔离开关(刀闸)固定编号及举例:

a 母线隔离开关(刀闸)从属母线编号, I 母线隔离开关(刀闸)为“1”字, II 母线隔离开关(刀闸)为“2”字;

b 断路器(开关)靠线路侧隔离开关(刀闸),从属断路器(开关)编号为“3”;

c 避雷器及旁路隔离开关(刀闸)为“5”。

d 接地刀闸编号,在所属隔离开关(刀闸)编号右侧加“-1”或“-3”,其中线路侧接地刀闸加“-1”,母线侧接地刀闸加“-3”。

首先以上述设备编号规则为依据建立设备抽象位置模型^[3],对规则所述的每个位置的设备编制位置序号,这样就实现了设备抽象位置模型的具体化,从而设备的编号就依赖于设备的位置序号。根据上述编号规则,假定某断路器 DL 编号为“ABC”,表 1 列出了各设备位置描述、设备位置序号与设备编号之间的一一对应关系。

表 1 面向设备位置序号的设备编号规则

Tab 1 Numbering rules based on position-oriented device

设备位置描述	位置序号	规则	设备编号
线路断路器	DL	无	ABC
相应 母侧隔离开关	GL1	+1	ABC1
相应 母侧隔离开关	GL2	+2	ABC2
线路隔离开关	GL3	+3	ABC3
旁母隔离开关	GL4	+5	ABC5
I 母侧接地刀闸	DZ1	+1 - 1	ABC1 - 1
II 母侧接地刀闸	DZ2	+2 - 1	ABC2 - 1
线路隔离开关接地刀闸(靠母线侧)	DZ3	+3 - 3	ABC3 - 3
线路隔离开关接地刀闸(靠线路侧)	DZ4	+3 - 1	ABC3 - 1

2.3 建立间隔模型

分析主接线图的特点可知,同类间隔的结构往往是固定的(指其所包含的设备数目、类型),而且同类间隔相同位置上的设备编号规则相同,因此提出建立间隔模型的思路。为了便于进行理论分析,特以较复杂的双母带旁路接线方式的典型出线间隔为例进行论述,建立间隔模型如图 1 所示。图中按表 1 为每个设备编制了位置序号。

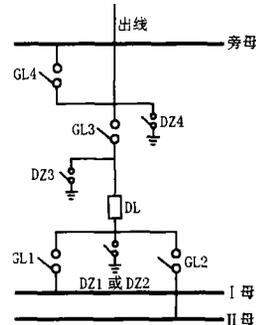


图 1 双母带旁路接线方式典型出线间隔模型

Fig 1 Out-line gap model of double bus with bypass system

按照表 1 设备位置序号的定义,图 1 中“DZ1 或 DZ2”位置出现两个位置序号,这与实际应用是一致的。因为现场使用时,该设备编号可能按 DZ1 或按 DZ2。但因为设备台帐中该设备编号唯一,所以在数据库中定位设备时,以存在的设备编号为准,实现设备的正确关联。作为设计,应充分考虑到这种特殊性。

建立间隔模型后,确定了设备的位置序号就确定了设备,设备位置序号的确定是由间隔内设备之间的拓扑连接关系决定的。比如某设备满足与 I 母, DL, DZ1 相连接,推断出该设备处于 GL1 位置,即为隔离开关 GL1。间隔模型的意义在于实现了设备之间拓扑关系的具体化,因此建立间隔模型对批

量关联方法的实现具有十分重要的意义。

3 图-数批量关联的实现

3.1 面向设备位置序号的拓扑规则设计

3.1.1 拓扑规则设计

1)分析图 1 间隔模型的特点,隔离开关的位置确定由隔离开关与母线的连接关系、隔离开关与断路器的连接关系所确定。其因变量为: 母, 母, 旁母, DL。建立以下因变量数学模型^[4,51]:

$$G_i = [G_{i1} \quad G_{i2} \quad \dots \quad G_{in}] \dots\dots \quad (1)$$

$$G = \begin{bmatrix} G_1 \\ \dots \\ G_m \end{bmatrix} = (G_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

式中: G_{ij} 表示第 i 个隔离开关 GL 与其因变量 V_j 的连接关系; G_i 表示第 i 个隔离开关与其因变量的连接关系所组成的行向量。 m 为隔离开关数目, n 为因变量数目。

表 2详细列出了每个隔离开关与其因变量的连接关系。其中“1 表示“连接”,“0 表示“无连接”。

表 2 基于拓扑连接关系的隔离开关位置序号确定规则

Tab 2 Confirmation rules of disconnecting-switch position-number based on topology

隔离开关	V1	V2	V3	V4
	母	母	旁母	DL
GL1	1	0	0	1
GL2	0	1	0	1
GL3	0	0	0	1
GL4	0	0	1	0

2)1)中的数学模型同样适用于确定接地刀闸的位置序号。接地刀闸的位置序号由接地刀闸与断路器的连接关系、接地刀闸与隔离开关的连接关系所确定。因变量为: DL, GL1, GL2, GL3, GL4。表 3详细列出了每个接地刀闸与其因变量的连接关系。其中“1 表示“连接”,“0 表示“无连接”。

表 3 基于拓扑连接关系的接地刀闸位置序号确定规则

Tab 3 Confirmation rules of switch position-number based on topology

接地刀闸	V1	V2	V3	V4	V5
	DL	GL1	GL2	GL3	GL4
DZ1 (或 DZ2)	1	1	1	0	0
DZ3	1	0	0	1	0
DZ4	0	0	0	1	1

3.1.2 理论验证

a 用 (1) (2)模型表示出表 2的基于拓扑连接关系的设备序号确定规则:

$$G = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \dots\dots \quad (3)$$

显然 (3)矩阵的秩是 4,因此该矩阵的行向量 G_1, G_2, G_3, G_4 线性无关^[6]。

b 用 (1) (2)模型表示出表 3的基于拓扑连接关系的设备确定规则:

$$G = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

初等变换
 $\sim \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ (4)

显然 (4)矩阵的秩是 3,因此该矩阵的行向量 G_1, G_2, G_3 线性无关。

综合 a、b推出上述基于拓扑连接关系的设备序号确定规则是可行的。利用表 2、表 3的拓扑连接规则作为判据,可以唯一确定对应的设备位置序号。

3.2 设备编号实现的具体步骤

笔者所开发的平台基于 ActiveX 控件开发,该图形控件在 Visual C++ 环境下开发实现。每一个图元对应一个图形指针(长整型),且每个图元具备设备类别编码属性,内置于图元本身,在程序实现中,可随时根据指针取得其属性。设备编号的基本思路是根据传入主设备的图元指针和设备编号,对其它附属设备按本文所述方法进行编号,执行成功后传回一个二维数组,分别对应设备图元的指针和编号。在 Delphi 环境中调用该控件方法,根据传回的数组按图元指针分别设置其编号于图元侧。设备编号的具体步骤为:

1)首先确定主设备。比如双母带旁路接线方式的出线间隔(图 1)的主设备为 DL 断路器。

2)判断当前间隔类型。首先判断母线接线方式,在使用平台绘制接线图时已将各母线的信息进行维护,每个母线具备母线标志“BusFlag”属性,其中“001 代表 母,“002 代表 母,“003 代表旁母。具体实现方法为从主设备开始采用深度搜索算法[7,8],以母线类图元为结束标志。搜索主要做三方面的工作。第一搜到母线类图元读取母线标志,根据母线标志及母线数目判断是何类接线方式。比如母线数目为二个,标志分别为“001”、“002”,那么该间隔所在母线接线方式为双母接线。第二在搜

索过程中将隔离开关类图元以及接地刀闸类图元分别记录于两个数组中以备 3)、4)使用;第三搜索判断是否含出线类图元。最后根据得到的隔离开关以及接地刀闸图元数目,参照得到的母线接线方式以及是否包含出线类图元,确定当前的间隔类型。以图 1 为例,得到的母线含“母,母,旁母”,所以接线方式为双母接线。又搜索到隔离开关数目为 4,接地刀闸数目为 3,含出线图元,所以判定图 1 为双母接线方式的出线间隔。如果此时不含出线类图元,那么此间隔为双母接线方式的主变间隔。确定了间隔类型就可以确定 3)、4)调用何类间隔类型的位置序号确定规则。

3)确定隔离开关位置序号。首先从 2)得到的隔离开关出发,采用广度搜索算法,得到所有与其直接连接的图元,依次判断这些图元的设备类别,这样就得到了隔离开关与其因变量图元的连接情况。然后参照规则表 2,依次判断出各隔离开关的设备位置序号。

4)确定接地刀闸位置序号。类似 3)首先从 2)得到的接地刀闸出发,采用广度搜索算法,得到所有与其直接连接的图元,依次判断这些图元的设备类别,这样就得到了接地刀闸与其因变量图元的连接情况。然后参考规则表 3 依次判断出各接地刀闸的设备位置序号。4)必须在 3)之后执行,这是因为 3)中的隔离开关是 4)中接地刀闸的因变量。

5)最后参照面向设备位置序号的设备编号规则表 1,对 3)和 4)得到的隔离开关和接地刀闸设备完成图元编号。

3.3 与后台数据库设备台帐的关联实现

在建立好的台帐信息库表中,利用某个设备在其所属厂站中编号唯一的特性,以设备编号为过滤条件,定位对应设备的记录。对于同时包含多个厂站设备台帐的信息表,加一所属变电站过滤条件即可唯一定位设备记录进行设备关联。采用的 SQL 语句为:

```
select * from DEVICE where RUNNO = DevNo
and SUBGUD = SubId;
```

其中 DEVICE 为设备台帐表名, RUNNO、SUB-GUD 分别为表中设备编号和设备所属变电站的 GUD 字段, DevNo 为设备具体编号, SubId 为设备所属变电站的 GUD。

关联采用增加设备图元的“关联设备”属性,该属性记录对应台帐表中设备的 GUD 字段值,以实现图元与台帐的具体关联。设备台帐查询时,利用

此属性的 GUD 即可定位到数据库中的该设备记录。采用的 SQL 语句为:

```
select * from DEVICE where DEVGUD = DevId;
```

其中 DEVICE 为设备台帐表名, DEVGUD 为设备 GUD 字段, DevId 为待查询设备的 GUD。

4 模型的拓展

本文从设备的编号规则入手,对设备建立了位置抽象模型,并以双母接线方式的典型出线间隔为例详细介绍了面向设备位置序号的间隔建模思想,以及拓扑规则的设计方法。该方法可进行扩展应用,具体包括两个方面。

1) 间隔类型扩充。其它接线方式的间隔亦可按本文所述方法进行间隔建模,并结合各省市编号规则情况按本文所述方法完成拓扑规则设计。

2) 间隔内设备扩充。间隔内设备扩充包括两方面的内容,第一是判断新增设备是否为确定隔离开关、接地刀闸的因变量,然后根据需要调整拓扑连接规则。其二是新增设备是否需要编号工作,采用本文的方法,首先制定其位置序号,然后重新进行拓扑连接规则设计,亦可实现新增设备编号。

5 应用示例

采用本文所提出的方法,笔者已实现所有有汇流接线方式下间隔的建模和规则库的设计工作,并已程序实现。以某 220 kV 的变电站主接线为例,其双母带旁路接线方式内间隔共有 16 个,单母分段接线方式间隔共有 14 个,主变间隔共 3 个,设备数共 307 个。表 4 为分别采用传统方法和批量关联方法的实际应用效果比较。表中实际所需时间的计算方法为:工作人员同是绘制该站接线图,从工作开始计时,在连续工作情况下直至关联设备任务完成所需的总时间。其中传统方法所需时间来源于该变电站以前采用其他软件关联设备所用总时间,由绘制人员提供;批量关联方法所需时间为采用本方法后关联设备所用总时间,由笔者从现场得到。

表 4 应用效果比较

方法	实际关联设备次数	实际所需时间
传统方法	307	2~3 h
批量关联	63	25~30 min

由表 4 可知,采用批量关联方法后,关联设备所需的时间得到大大缩短,工作效率提高了 5 倍左右。同时由批量关联的原理知,对间隔数目越多的接线

图,效率会更高。图 2 为应用效果图。

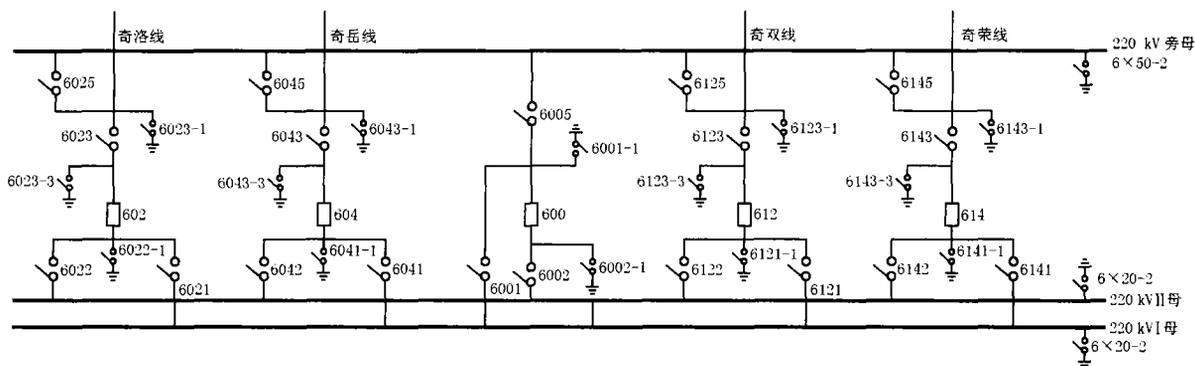


图 2 应用效果图

Fig 2 Illustration of application effects

6 结语

1) 本文总结了电力系统主接线图的间隔特点,提出图-数批量关联的概念。

2) 本文从设备的编号规则入手,对设备建立位置抽象模型,总结出面向设备图元位置序号的编号规则维护方法。

3) 提出间隔建模思想,完成了基于网络拓扑连接关系的设备位置序号确定规则设计,并给予了理论验证。

4) 本文所述方法实现了批量关联方法的开放性设计,使得本文的设计思想可以应用到其它基于网络拓扑的绘图软件,不受地域、编号规则不同的限制。

5) 现场经验表明,本文所述方法大大提高了工作效率,具有较高实用价值。

参考文献:

- [1] 范锡普. 发电厂电气部分 [M]. 北京:中国电力出版社,1987.
FAN Xi-pu Power Plant Electricity [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1987.
- [2] 朱永利,栗然,刘艳. 电力系统厂站主接线图的自动生成 [J]. 中国电力,1999,32(11): 56-58
ZHU Yong-li, LI Ran, LIU Yan Automatic Graphic Generation of Power Station Circuit Diagrams [J]. Electric Power, 1999, 32(11): 56-58
- [3] 曹谢东. 模糊信息处理及应用 [M]. 北京:科学出版社,2003.
CAO Xie-dong Fuzzy Information Processing Technology

- and Its Applications [M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [4] 谢兆鸿,范正森,王良远. 数学建模技术 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2003
XIE Zhao-hong, FAN Zheng-sen, WANG Gen-yuan Mathematic Modeling Technology [M]. Beijing: China Water Power Press, 2003.
- [5] 熊启才,曹吉利,张东生,等. 数学模型方法及应用 [M]. 重庆:重庆大学出版社,2003
XIONG Qi-cai, CAO Ji-li, ZHANG Dong-sheng, et al Method and Application of Mathematic Model [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2003.
- [6] 同济大学数学教研室. 工程数学:线性代数 [M]. 北京:高等教育出版社,1999.
Mathematic Research Institute of Tongji University. Engineering Math: Linear Algebra [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [7] 蔡丽娟,张建成. 面向对象技术的电力网络拓扑分析 [J]. 电气时代,2004(4): 94-95.
CAI Li-juan, ZHANG Jian-cheng Power Network Topology Based on Object-oriented Technology [J]. Electric Age, 2004(4): 94-95.

收稿日期: 2005-10-28; 修回日期: 2005-11-28

作者简介:

邱吉福(1982-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统分析与控制; churchilf@163.com

刘国贤(1962-),男,教授,研究方向为电力系统分析与控制;

王建明(1978-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统分析与控制。

(下转第 70 页 continued on page 70)

- cing System and Relevant Systems Design, Part One: Two Electricity Markets and Electricity Value Equivalent (EVE) Pricing Theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(7): 1-6
- [3] 言茂松. 当量电价体系及相关制度设计(二)发电上网的实用当量电价法及其市场特性[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 1-9.
YAN Mao-song Electricity Value Equivalent (EVE) Pricing System and Relevant Systems Design, Part Two: a Practical Electricity Value Equivalent (p - EVE) Pricing Theory for Pool Purchase and Its Market Characters[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(8): 1-9.
- [4] 张森林. 区域电力市场中月度撮合交易竞价机制研究(一):考虑输电损耗和输电价MCP结算机制[J]. 继电器, 2006, 34(10): 50-54.
ZHANG Sen-lin Research on Matchmaking Tradeoff Competition Mechanism in Regional Electricity Market, Part One: a MCP Competition Mechanism Based on Transmission Loss and Price[J]. Relay, 2006, 34(10): 50-54.
- [5] 刘亚安,管晓宏,孙婕,等. 电力市场电价飞升机理分析[J]. 中国电力, 2001, 34(8): 67-70.
LIU Ya-an, GUAN Xiao-hong, SUN Jie, et al Mechanism of Price Spiking in Electric Power Market[J]. Electric Power, 2001, 34(8): 67-70.
- [6] 王雁凌,张粒子,杨以涵. 边际电价结算和发电方报价价格结算竞价机制的经济分析[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 14-17.
WANG Yan-ling, ZHANG Li-zi, YANG Yi-han An Economic Analysis of Competition Mechanisms for System-margin pricing and Pay-as-bid [J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 14-17.

收稿日期: 2005-11-16

作者简介:

张森林(1978-),男,硕士,主要从事南方电网跨省区电力交易的管理工作和电力市场竞价交易机制理论、经济学及信息技术在电力系统自动化领域的应用等方面的研究工作。E-mail: zhangsl@csg.net.cn

Research on matchmaking tradeoff competition mechanism in regional electricity market, part two—a PAB competition mechanism based on transmission price, loss and environmental expenditure

ZHANG Sen-lin

(China Southern Power Grid Co., Ltd, Electricity Trade Center, Guangzhou 510623, China)

Abstract: This paper presents a new matchmaking tradeoff competition mechanism. It solves the problems of transmission price between provincial networks in a regional electricity power market. Furthermore, the effects of environmental expenditure to competition results is also taken into account. Based on theoretical analysis, trade procedure and example are also established, which can give a theoretical reference for the competition mechanisms design in regional electricity power market.

Key words: transmission price; environmental expenditure; matchmaking tradeoff; competition mechanism; electricity market

(上接第 53 页 continued from page 53)

Research on batch incident of diagram and database based on network topology

Q U Ji-fu, L U Guo-xian, WANG Jian-ming, SUN Feng

(School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Electric main wiring diagram is extensively used in the software of power system, the work to draw main wiring diagram contains two parts, including depiction and incident of the device information, the latter need to set the incident of diagram and database one by one in traditional method. This paper presents a clew of setting up the gap model through analyzing the character of electric main wiring diagram and summarizes the gap model oriented method about how to ascertain the serial number of primitive. By associating the device number and its information according to the primitive serial number and the device numbering rules, the action to set the incidence of all devices in the gap according to the gap model can be achieved.

Key words: batch incident of diagram and database; network topology; position oriented; gap model; code rules