

兼顾电力市场竞价的区域电网节能发电调度模型

范玉宏^{1,2}, 张维¹, 韩文长¹, 唐学军¹

(1. 华中电网有限公司, 湖北 武汉 430077; 2. 华中科技大学水电学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 分析了区域电网节能调度和电力市场竞价的目标函数和约束条件, 发现两者具有相同的数学模型和相近的目标函数。在此基础上, 提出了一种兼顾电力市场竞价的区域电网节能发电调度模型。针对此数学模型, 给出了采用先分省排序, 然后省间撮合替换的区域电网发电调度算法。最后通过实例计算进行了不同的模式间的节能情况、购电成本和跨省交易情况比较分析, 证明了兼顾市场竞价的区域电网节能发电调度模型具有很好的节能、降低购电成本, 优化资源配置的作用。

关键词: 节能减排; 电力调度; 竞价交易; 区域电网

Research on energy-saving generation dispatching model in regional grid considering bidding mechanism

FAN Yu-hong^{1,2}, ZHANG Wei¹, HAN Wen-chang¹, TANG Xue-jun¹

(1. Central China Grid Company Limited, Wuhan 430077, China;

2. School of Hydroelectricity and Digitalization Eng., HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper analyses the target function and constraints of energy-saving generation dispatching and bidding transaction in regional grid. And it is found that the two mechanisms have the same mathematical mode. Then an energy-saving generation dispatching model in regional grid considering bidding mechanism is proposed. After that the paper gives an algorithm to solve the model which is sequencing the units in each province following with trans-provincial alternative. Analysis and comparisons of coal cost, purchasing cost, as well as trans-provincial transaction are made on different mechanisms using the real data. The results reveal the positive signification of the proposed mode in energy saving and purchasing cost decreasing.

Key words: energy-saving and emission-reduction; generation dispatching mode; bidding transaction; regional grid

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)18-0083-06

0 引言

国务院办公厅 2007 年 8 月 2 日转发了国家发改委、环保总局、电监会、能源办等四部委共同制定的《节能发电调度办法(试行)》(国办发[2007]53号, 以下简称《办法》)^[1,2]。《办法》提出了节能发电调度模式的主要思路: 改变传统的发电调度方式, 取消平均分配发电利用小时数的做法, 在保障电力可靠供应的前提下, 按照节能、环保的原则, 优先调度可再生发电资源, 按照机组类型、能耗和污染物排放水平确定机组的发电次序, 严格进行安全校核, 大范围优化发电机组排序和机组组合, 最大限度地减少能源消耗和污染物排放。该模式要求在保证电网安全稳定运行及连续可靠供电的前提下, 分省按照机组能耗进行排序, 然后按照边际能耗的不

同在区域内进行优化、区域间进行协调。

目前, 河南、四川等试点省正着手进行节能发电调度, 实施发电调度后, 减少了能耗高、污染大的小火发电机组的发电利用小时数, 充分发挥高效、环保、节能大机组的节能减排优势, 可以达到节能减排的目的^[3-9]。但由于各省(市)的装机构成存在很大差异, 同一区域的各省(市)之间也存在着很大的节能空间。如果使得电力由边际能耗低的省流向边际煤耗高的省, 就能在更大的范围内进行节能调度, 加大节能减排效果的目的。

在实行节能发电调度的同时, 我们也要进行区域电网电力市场的建设, 通过市场进行资源优化配置, 降低购电成本。本文就是要分析区域电网节能调度和电力市场竞价之间的联系, 构造一种兼顾电力市场竞价交易的区域电网节能优化调度的算法和

模型。使得通过区域优化,达到节约一次性能源、降低购电成本、优化资源配置的目的。

1 区域电网发电调度数学模型

1.1 区域电网节能调度数学模型

区域电网节能调度的目的是追求在全区域的范围内最大限度地节能,也就是使得全区域的总煤耗最小。这就需要在省内排序的基础上进行省间电力交换,电力由边际供电煤耗低的省份向边际供电煤耗高的省份流动。

各省的用电需求一定,如果各省的电都由本省的机组来发,就需要把各省的机组由煤耗从小到大的顺序排序,煤耗小的先发,根据用电需求得出边际机组。现在要在区域内优化,目标函数就是全区域的总煤耗最小。在分省排序的基础上,如果煤耗低省份的边际外机组经过网损折算后比高煤耗省份的边际内机组的煤耗还低,则可以进行替换,很显然,每发生一次这样的替换,都降低了全区域的总煤耗。由此可见,在分省排序的基础上进行省间替换,目标函数就变为了煤耗降低量最大。其数学模型为:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [CCR_n(x_{i,j}) - CCR_w(x_{i,j}) + L_{i,j}(x_{x,j})] \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j=1}^m x_{i,j} \leq d_{i,\max} \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} \leq P_{j,\max} \quad \forall j \quad (3)$$

$$x_{i,j} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (4)$$

式(1)~(4)中: m 为边际外机组的数目; n 为边际内机组的数目; $d_{i,\max}$ 为边际内机组 i 的机组容量;

$P_{j,\max}$ 为边际外机组 j 的机组容量; $x_{i,j}$ 为边际内机组 i 被边际外机组 j 替换的容量,可以等价为线路潮流; $CCR_n(x_{i,j})$ 为内边际机组的煤耗函数;

$CCR_w(x_{i,j})$ 为外边际机组的煤耗函数; $L_{i,j}(x_{x,j})$ 表示省间网损折算成煤耗的非线性函数。

1.2 区域电力市场竞价交易数学模型

区域电网电力市场竞价的目的是追求全区域的总购电费最低。各省的用电需求一定,如果各省的电都由本省的机组来发,就需要把各省的机组按申报电价由低到高的顺序排序,申报电价低的优先发电,根据用电需求得出边际内机组和边际外机组。然后在省内排序的基础上进行区域内优化,电能由边际电价低的省份流向边际电价高的省份。在分省

排序的基础上,如果边际电价低省份的边际外机组的报价加上输电成本后比边际电价省份的边际内机组的申报电价还低,则可以进行替换,很显然,每发生一次这样的替换,都降低了全区域的总购电费。由此可见,在分省排序的基础上进行省间替换,区域电力市场竞价交易的目标函数就变为了购电成本节约量最大。其数学模型为:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [SP_n(x_{i,j}) - SP_w(x_{i,j}) + L_{i,j}(x_{x,j})] \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j=1}^m x_{i,j} \leq d_{i,\max} \quad \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} \leq P_{j,\max} \quad \forall j \quad (7)$$

$$x_{i,j} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (8)$$

式(5)~(8)中: m 为边际外机组的数目; n 为边际内机组的数目; $d_{i,\max}$ 为边际内机组 i 的机组容量;

$P_{j,\max}$ 为边际外机组 j 的机组容量; $x_{i,j}$ 为边际内机组 i 被边际外机组 j 替换的容量,可以等价为线路潮流; $SP_n(x_{i,j})$ 为内边际机组的报价函数;

$SP_w(x_{i,j})$ 为外边际机组的报价函数; $L_{i,j}(x_{x,j})$ 表示输电成本折算成报价的非线性函数。

1.3 兼顾电力市场竞价的区域电网节能发电调度模型

从 1.1 节和 1.2 节的分析,我们可以看出节能调度和电力市场竞价具有相同的数学结构。其中节能调度的排序依据为机组的煤耗,竞价交易排序的依据为机组的报价。所以式(1)中为边际内外机组的煤耗函数之差,而式(5)中为边际内外机组的报价函数之差。虽然在竞价交易中,各发电企业的报价存在博弈,但机组的报价都会围绕发电成本报价。发电成本分为固定成本和变动成本,变动成本与机组的煤耗有着直接的关系。煤耗小的机组变动成本就低,反之高煤耗的机组也就意味着变动成本较高。所以就总体而言,大机组具有低煤耗,发电成本相对较小,在竞价交易中的申报价格往往低于小机组,从而具有竞争优势。从这种意义上说,节能调度与电力市场竞价交易具有相同的目标。通过市场竞价交易,也能达到节能降耗的目的。但由于各个电厂的固定成本存在一定的区别,而且变动成本除了与煤耗有关外,还与煤价有关,产煤省与非产煤省的煤价存在着一定的差别。所以两种调度机制不能完全等同,可以通过设置煤耗和价格的权重,将两种市场机制结合起来,建立一种兼顾电力市场竞价的

区域电网节能调度模型。

构造机组排序参数函数 $PC(x_{i,j})$:

$$PC(x_{i,j}) = mCCR(x_{i,j}) + nSP(x_{i,j}), \quad m+n=1 \quad (9)$$

系统目标函数变为了, 排序参数和最小, 也就是通过省间替换, 排序参数节约最大, 即:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [PC_n(x_{i,j}) - PC_w(x_{i,j}) + L_{i,j}(x_{i,j})] \quad (10)$$

各种约束条件与 1.1 节, 1.2 节的模型一致。

从上面的分析我们可以看出, 3 种模式具有相同的数学模型, 可以采用相同的算法解决跨省调度的问题。

2 区域电网发电调度算法

通过第 1 节的分析, 我们发现无论采用何种市场机制进行调度, 都可以先给参与市场的机组分配一个排序参数, 这个参数有可能是机组的煤耗, 可能是机组的申报电价, 也可能是两者的以一定权重计算出来的一个值。区域电网省间调度可以将机组进行分省排序, 排序参数低的机组优先满足本省, 根据该省的用电需求确定出边际排序参数; 然后在省内排序的基础上进行省间优化, 电力由边际排序参数低的省份向边际排序参数高的省份流动。

省间的电力流动实际上就是省间的发电机组的替代, 可以看作是一种省间的发电权转让, 可以采用撮合的办法来解决这一问题。撮合交易是来自经济学领域的一个概念。买家按照报价由高到低依次排优先级, 卖价按照报价由低到高依次排优先级。首先撮合优先级最高的买家和卖家的交易, 然后撮合优先级次高的市场成员的交易, 以此类推。高低匹配的撮合过程使得交易量可达到市场均衡时所能成交的最大量。如果减少某一对交易对象间的交易量, 这部分交易量不能转移给报价差比其大的交易对, 因为撮合过程保证了报价差大的交易对已经获得了尽可能大的交易量; 如果这部分交易量转移给报价差比其小的交易对, 不可能使总交易量增加, 而以减少报价差大的交易量来增加报价小的交易量将使得总效用减少。可见, 撮合交易能实现社会生产者与消费者剩余的最大化。同理, 采用撮合的办法解决区域电网发电调度问题, 可以实现总“节约排序参数”最大化, 从而达到全区域总排序参数最小的目标。

在算法中我们考虑了跨省输电的线损折算和跨省联络线的输电限制。具体的算法流程如下:

(1) 确定各省(市)的最小开机机组, 这些机组的排序参数值设为 0, 优先发电。

(2) 将省(市)的发电机组按排序参数由低到高排序, 排序参数低者优先满足本省。

(3) 根据省(市)的用电需求, 找出各省(市)的边际发电机组。边际发电机组就将该省(市)的所有机组分为了边际内机组和边际外机组。

(4) 构造发电替换匹配队。具体方法为将各个省(市)的边际外机组的排序参数除以(1-省间网损)折算到其他省(市), 并与其他省(市)的边际内机组进行匹配。用其他省(市)的边际内机组的排序参数值减去该折算值, 如果排序参数值之差大于 0, 则形成一个匹配对。依次循环, 直至列出全部的匹配对。

(5) 将匹配对按照排序参数差由大到小进行排序, 排序参数差最大者优先“中标”, 意味着组成该匹配队的两台机组进行替代发电。替代量为替代方的发电能力、被替方的发电能力和省间输电能力三者中的最小值。

(6) 更新匹配对。先将上一步“中标”机组的可替换电力减去替代量, 然后将可替换电力为 0 的机组从匹配队列中清除。

(7) 更新省间联络线的可用容量。

(8) 转到 4 进行“中标”, 直至匹配队列为空或者省间联络线达到输送容量极限。

将以上算法的替换结果进行分省统计, 得出跨省交易电力。

算法流程图如图 1。

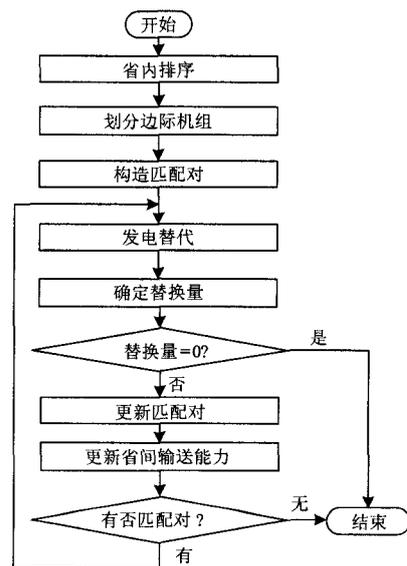


图 1 区域电网节能调度算法流程图

Fig.1 Flow chart of regional energy-saving dispatch algorithm

3 测算分析

为了分析区域电网实行节能发电调度的节能效果和对省公司购电成本的影响,我们取华中电网的冬季和夏季各一个典型日进行了模拟测算。对于节能调度模式和竞价模式采取第2节所示的模型和第3节所示的算法先省内排序,然后在省内排序的基础上进行省间替换。替换后统计各省的平均购电煤耗和平均购电价。某省的平均购电煤耗指供应本省用电需求的发电平均煤耗,如果发电来源于外省,则将外省的发电煤耗折算到本省。平均购电价的计算同理,如果发电来源于外省,则将外省的发电煤耗折算到本省,并加上跨省输电费。对于兼顾电力市场竞价的节能调度模式,我们取式(9)中的 m 值为 0.7, n 值为 0.3, 该模式简称兼顾模式。

测算中作如下假设:

(1) 按照《办法》所规定的顺序,水电等优质能源先发,所以将省的发电需求先减去水电等优质能源的发电量,剩下的为火电的发电需求。我们的测算仅针对常规煤电机组。

(2) 机组煤耗值采用设计煤耗。

(3) 省内的安全约束用分区限制和最小开机代替。

(4) 跨省输电必须满足跨省联络线的输送能力约束。

(5) 先确定开机机组组合,所有开机机组采用等比例调峰。

3.1 节能分析

表1 不同模式下各省平均煤耗比较

Tab.1 Comparison of average coal consumption rate among different modes

单位: g/kWh

冬季典型日各省平均购电煤耗				
省份	等利用小时	节能调度	竞价交易	兼顾模式
湖北	329.5	324.4	325	325
河南	337.6	322.7	330.1	325.1
湖南	323.4	318.8	320.1	319.2
江西	336	325.7	328.7	326.4
四川	340.4	325.3	325.3	326.4
重庆	327.3	325	325.3	325.9
夏季典型日各省平均购电煤耗				
省份	等利用小时	节能调度	竞价交易	兼顾模式
湖北	329.5	318.5	321.6	319.2
河南	337.6	327.6	330.2	327.6
湖南	323.4	315.2	317.9	315.8
江西	336	331.3	332.3	331.8
四川	340.4	318.9	320.6	318.9
重庆	327.3	322.1	324.1	322.1

表1给出了不同模式下各省的平均煤耗。从表中我们可以看出,节能调度模式的平均煤耗要大大低于等利用小时,充分体现了节能调度带来的节能减排效应。在此模式下,夏季的平均煤耗要低于冬季的平均煤耗,因为夏季四川,湖南等水电大发,火电机组的发电需求减少,按照煤耗低的大机组优先发电的原则,小机组不能进入机组组合,所以夏季的平均煤耗较低。竞价交易,各机组按照固定成本加变动成本的报价方式,大机组煤耗下,变动成本相对较低,报价普遍低于小机组,所以在这种模式下也能取得一定的节能效果。但由于某些小机组已经运行多年,而大机组多为新建机组,还贷压力大,所以有些小机组也存在竞价优势。由于这个原因的存在,其节能效果比节能调度模式的节能力度要小一些。从表2我们可以看到,采用节能调度的节煤效果最显著,全区域全年可以节煤436万吨;其次是兼顾模式,可以节煤398万吨。

表2 不同模式下节能情况比较

Tab.2 Comparison of coal-saving among different modes

市场模式	典型日	平均煤耗/(g/kWh)	煤耗下降/(g/kWh)	日电量/GWh	日节煤/WT	全年节煤/WT
等利用小时	冬季典型日	333	0	1215	0	0
	夏季典型日	332.6	0	1263	0	
节能调度	冬季典型日	323	10	1215	1.215	436
	夏季典型日	323.3	9.3	1263	1.1746	
竞价交易	冬季典型日	326.4	6.6	1215	0.8019	305
	夏季典型日	325.7	6.9	1263	0.8715	
兼顾模式	冬季典型日	324.4	8.6	1215	1.0449	398
	夏季典型日	323.6	9	1263	1.1367	

3.2 省公司购电成本分析

节能调度要顺利实施,就必须兼顾各方的利益,做到多赢,所以我们做了省公司平均购电成本的比较分析。表3给出了不同模式下各省平均购电价的数据,在测算中,等利用小时和节能调度模式下的购电价采用各电厂的批复电价,竞价模式和兼顾模式采用各企业的发电报价。从表中,我们可以看出,实行节能调度后,电网企业的平均购电成本有所升高,这是由于小机组大多未装脱硫设备,所以批复电价略低一些。而采用竞价交易和兼顾模式

下, 电网企业的购电成本就得到了降低, 取得了很好的社会效益。

表 3 不同模式下各省平均购电成本比较

Tab.3 Comparison of average purchasing cost among different modes

单位: 元/kWh

冬季典型日各省平均购电价				
省份	等利用小时	节能调度	竞价交易	兼顾模式
湖北	431.1	438.2	399.2	427.5
河南	385.5	387.3	377.6	380.4
湖南	421.3	431.2	397.2	411.6
江西	410.4	421.1	389.1	400.3
四川	372.6	373.3	372.6	361.3
重庆	368.2	372.5	361.0	361.2
夏季典型日各省平均购电价				
省份	等利用小时	节能调度	竞价交易	兼顾模式
湖北	420.8	424.9	390.1	401.3
河南	385.1	390.0	377.1	378.2
湖南	399.4	409.4	380.7	385.2
江西	411.0	415.9	385	401.3
四川	352.9	352.0	344.1	351.9
重庆	361.3	366.1	355.6	359.8

3.3 跨省交易量分析

我们对节能调度模式和兼顾模式的跨省交易进行了比较分析, 所得测算结果如表 4 和表 5 所示。从表 4 我们可以看到在冬季跨省交易量不大, 受电省为江西和四川。江西主要因为全省小机组偏多, 四川则由于为水电大省, 枯水期水电出力较小。从表 5 我们可以看到, 夏季的跨省交易量明显大于冬季。同时我们还可以发现节能调度模式下, 华中电网在夏季出现了煤电倒送现象, 就是湖南、重庆等省的电力向产煤大省河南倒送。出现这种现象的原因, 一是夏季湖北等省的水电满发, 并供当地使用, 使火电的边际机组容量上升, 与河南相比形成竞争优势。而采用兼顾模式考虑了企业的发电成本, 河南省的煤价低, 与外省相比具有竞争优势, 所以该模式下可以避免能源倒流的现象。从表 4 和表 5 中, 我们还可以看到, 采用兼顾模式, 跨省交易量增大, 有利于全区域的资源的优化。

表 4 冬季不同模式下跨省交易量的比较

Tab.4 Comparison of trans-provincial power energy among different modes in winter

单位: MW、MWh

节能调度模式										
方向	尖峰		高峰		平段		低谷		总计	
	电力	电量	电力	电量	电力	电量	电力	电量	电力	电量
湖北送江西	248	497	229	1 374	211	2 323	163	815	209	5 009
湖北送四川	100	200	103	619	104	1 143	102	512	103	2 474
重庆送四川	596	1 191	616	3 694	619	6 814	611	3 055	615	14 754
合计	944	1 888	948	5 687	935	10 280	876	4 382	927	22 237
兼顾电力市场的节能调度模式										
方向	尖峰		高峰		平段		低谷		总计	
	电力	电量	电力	电量	电力	电量	电力	电量	电力	电量
湖北送河南	621	1243	585	3 513	599	6 589	477	2 385	572	13 730
湖南送河南	203	407	192	1 149	196	2 155	156	780	187	4 491
重庆送河南	295	589	278	1 665	284	3 124	226	1 131	271	6 509
四川送湖北	250	500	250	1 500	250	2 750	250	1 250	250	6 000
四川送江西	250	500	250	1 500	250	2 750	250	1 250	250	6 000
四川送重庆	1 599	3 198	1 203	7 219	1 377	15 151	735	3 675	1 218	29 243
合计	3 218	6 437	2 758	16 546	2 956	32 519	2 094	10 471	2 749	65 973

表 5 夏季不同模式下跨省交易量的比较

Tab.5 Comparison of trans-provincial power energy among different modes in summer

单位: MW、MWh

节能调度模式										
方向	尖峰		高峰		平段		低谷		总计	
	电力	电量	电力	电量	电力	电量	电力	电量	电力	电量
河南送湖北	1 584	3 167	1 463	8 777	1 402	15 419	1 144	5 719	1 378	33 082
河南送江西	251	502	232	1 390	214	2 351	165	825	211	5 068
四川送湖北	470	940	434	2 604	416	4 575	339	1 697	409	9 817
四川送湖南	72	144	73	436	71	781	71	353	71	1 714
重庆送湖北	1 057	2 114	976	5 858	936	10 292	763	3 817	920	22 082
重庆送湖南	100	199	100	601	98	1 076	97	486	98	2 362
合计	3 534	7 067	3 278	19 666	3 136	34 495	2 579	12 896	3 088	74 124
兼顾电力市场的节能调度模式										
方向	尖峰		高峰		平段		低谷		总计	
	电力	电量	电力	电量	电力	电量	电力	电量	电力	电量
河南送湖北	1 929	3 858	1 928	11 565	2 026	22 287	1 633	8 165	1 911	45 875
河南送湖南	152	304	153	921	165	1 818	147	735	157	3 778
重庆送湖北	475	951	475	2 850	499	5 492	402	2 012	471	11 304
四川送湖北	250	500	250	1 500	250	2 750	250	1 250	250	6 000
四川送江西	250	500	250	1 500	250	2 750	250	1 250	250	6 000
四川送重庆	1 599	3 198	1 203	7 219	1 377	15 151	735	3 675	1 218	29 243
合计	4 655	9 310	4 259	25 555	4 568	50 247	3 417	17 087	4 258	102 199

4 结论

本文分析了区域电网节能调度和电力市场竞价交易的数学模型,发现两者具有相同的数学结构,并且从某种意义上说两者具有类似的目标函数。在此基础上,本文提出了兼顾电力市场竞价交易的节能调度模型。通过华中电网的实际数据进行了各种模式的分析测算,通过测算证明了竞价交易也具有节能的效果。而兼顾电力市场竞价交易的节能调度模型,在节能效果仅次于节能调度的基础上,还具有降低省公司购电成本,增加跨省交易量,优化省间资源流动的效果,是一种值得推荐的区域电网节能调度模型。

参考文献

[1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于转发发展改革委员会等部门节能发电调度办法(试行)的通知(国办发[2007](53号)[Z]. 北京: 国务院,2007.

[2] 国家发展和改革委员会. 关于印发节能发电调度试点工作实施方案和实施细则(试行)的通知(发改能源[2007]3523号文)[Z].

[3] 曾鸣, 史连军, 董军,等. 与市场机制相协调的节能发电调度相关问题研究[J]. 电力技术经济,

2007,19(5):1-5.

ZENG Ming, SHI Lian-jun, DONG Jun, et al. Study on Issues Related to Energy-Saving Dispatching of Generation that conforms to the Market Mechanism[J]. Electric Power Technologic Economics, 2007,19(5):1-5(in Chinese).

[4] 赵静. 电力行业节能浅析[J]. 电力技术经济, 2007, 19(3):39-42.

ZHAO Jing. Study on Energy Saving in Power Industry[J]. Electric Power Technologic Economics, 2003,23(4):43-47(in Chinese).

[5] 严宇, 马珂,等. 改进发电调度方式,实施节能、环保、经济调度的探讨[J]. 中国电力, 2007,40(6):6-9.

YAN Yu, MA Ke, et al. Primary Research on Improvement in Generation Dispatching Mode to Implement Energy Conservation and Environmental Protection and Economic Dispatching[J]. Electric Power, 2007,40(6):6-9(in Chinese).

[6] 华北电网有限公司电价工作研究组. 《节能发电调度办法(试行)》执行影响分析与建议[J]. 电力财务会计, 2007, (3): 6-8.

[7] 薛荣贵, 高洁,等. 以市场机制实现节能减排[J]. 华东电力, 2008,36(9):81-84.

(下转第 92 页 continued on page 92)

图元 UNIT 映射为设备 EQUIPMENT, 连线 LINE 映射为集合 CONECTIVITYNODE。

UNIT→EQUIPMENT

LINE→CONECTIVITYNODE

根据以上的关系, 在图形系统中, 可以建立 CIM 模型中的拓扑模型和图形模型的统一的对象模型。如图 4 所示。

图 4 中图元单态与设备 (Equipment) 关联, 热点和端点 (Terminal) 关联, 图形界面的连线和连接节点 (ConnectivityNode) 关联。

4 结论

根据建立的对象模型, 用 VC++6.0 语言, 对图形平台进行了扩充, 对多幅图形的静态拓扑进行生成, 生成结果正确。所实现的符合 CIM 标准的拓扑模型, 能正确表达电网的拓扑关系, 满足实际系统的应用要求。

本文在基本图形编辑工具的基础上, 通过编辑完成的电网图形, 自动实现符合 CIM 中拓扑模型要求的电网拓扑表达, 为实现电力系统分析奠定了基础。

参考文献

[1] 董张卓, 孙启宏, 杜宇, 等. 基于面向对象技术的实时电网拓扑表示[J]. 西安交通大学学报, 1995, 29 (3): 88-96.
 DONG Zhang-zhuo, SUN Qi-hong, DU Yu, et al. Object-Oriented to Topological Expression of Electric Power Systems[J]. Journal of Xi'an Joaotong University, 1995, 29(3): 88-96.

(上接第 88 页 continued from page 88)
 XUE Rong-gui, GAO Jie, et al. Realizing Energy-saving and Emission-reduction Through Market Mechanisms[J]. East China Electric Power, 2008, 36(9): 81-84.
 [8] 尚金成, 张兆峰. 区域共同电力市场交易机理与交易模型的研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(4): 6-13, 23.
 SHANG Jin-cheng, ZHANG Zhao-feng. Study on Transaction Mechanism and Model of Regional Layered Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(4): 6-13, 23 (in Chinese).
 [9] 尚金成. 兼顾市场机制与政府宏观调控的节能发电调度模式及运作机制[J]. 电网技术, 2007, 31(24): 55-62.

[2] 潘毅, 周京阳, 吴杏平, 等. 基于电力系统公共信息模型的互操作试验[J]. 电网技术, 2003, 27 (10): 25-28.
 PAN Yi, ZHOU Jing-yang, WU Xing-ping, et al. Interoperability Test Based on Common Information Model[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 25-28.
 [3] 孙宏斌, 吴文传, 张伯明, 等. IEC61970 标准的扩展在调度控制中心集成化中的应用[J]. 电网技术, 2003, 29 (16): 21-25.
 SUN Hong-bin, WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming, et al. Application of Extension of IEC61970 Standard in Control Center Integration[J]. Power System Technology, 2003, 29(16): 21-25.
 [4] Berry T. Standards for Energy Management System Application Program Interfaces[A]. in: International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies[C]. London (England) : 2000. 156-161.
 [5] McMorran A, Ault G W, Elders I M, et al. Translating CIM XML Power System Data to a Proprietary Format for System Simulation [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19(1): 229-235.

收稿日期: 2008-10-14; 修回日期: 2009-01-10

作者简介:

董张卓 (1962-), 男, 高工, 硕士生导师, 主要研究方向为电力系统自动化和电力系统分析; E-mail: dongzz@pub.xaonline.com
 段欣 (1973-), 男, 工程师, 主要从事企业供电系统运行技术管理工作;
 李骞 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为计算机在电力系统中的应用。

SHANG Jin-cheng. Research on Energy-saving Generation Dispatching Mode and Operational Mechanism Considering Market Memchanism and Government Macro-control[J]. Power System Technology, 2007, 31(24): 55-62 (in Chinese).

收稿日期: 2008-10-13; 修回日期: 2008-12-19

作者简介:

范玉宏 (1978-), 男, 博士后, 研究方向为电力市场, 人工智能; E-mail: hppyue@163.com
 张维 (1966-), 男, 硕士, 高级经济师, 研究方向为电力市场、电力规划、电力技术经济。