

区域电网节能发电调度模式研究

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: 提出了一种区域电网节能发电调度的算法模型, 利用该模型可以制定各省市的日发电计划。该算法首先确定开机机组组合, 然后确定跨省交易电力, 最后确定机组的发电量和发电曲线。然后根据这个模型, 利用实际的区域电网进行了跨省交易电量分析, 得出了采用设计煤耗进行节能调度会引起“煤电倒流”的问题, 建议采用考虑电煤运输损耗等因素的综合煤耗作为节能调度机组排序的依据。最后对组织实施节能发电调度提出了一些问题和建议。

关键词: 节能减排; 电力调度; 区域电网; 综合煤耗

Research on energy-saving generation dispatching model in regional grid

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 proposes a novel energy-saving generation dispatching model in regional grid which can be used for daily generation scheduling. The first step is to find the unit commitment, and then the power of trans-provincial transaction is confirmed. Finally, the generated energy and generation curves are determined to every unit. The model is used to analyze the trans-provincial transaction in regional grid of Central China. It is found that the backflow of power and coal is occurred when energy-saving generation dispatching used designing coal consumption rate. For that the comprehensive coal consumption rate considering the coal loss in transmission and other aspects are adopted to range the units. Some problems and advises of energy-saving generation dispatching operational mechanism are given in the end of this paper.

Key words: energy-saving and emission-reduction; generation dispatching mode; regional grid; comprehensive coal consumption rate

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)16-0107-05

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)》(国发办[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。如何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, 加大节能减排的目的。

本文就是要建立区域电网节能优化调度的算法和模型, 使得通过区域优化, 达到最大限度的节约一次性能源, 更好的达到节能减排的目的。

1 区域电网节能发电调度算法模型

区域电网节能发电调度, 就是在省内排序的基础上进行省间优化, 电力由边际煤耗低的省流向边

际煤耗高的省份。为了避免机组频繁起停，我们根据用电负荷需求，先确定开机机组组合，然后由这些机组全部或者部分机组参与调峰。区域电网节能发电调度算法的任务是在已知各省（市）负荷和机组排序的基础上，确定各省（市）的开机机组组合，并给出各机组的发电曲线。

本文所提出的区域电网节能发电调度算法分为以下几个步骤：

- (1) 确定开机组合。
- (2) 确定跨省交易电力。
- (3) 确定各开机机组的发电量。
- (4) 确定各开机机组的发电出力曲线。

1.1 确定开机组合

首先确定日发电排序顺位表，排序的依据为《办法》上所规定的排序原则。其次根据各省市的电网拓扑结构，对省内电网进行分区，确定机组属于哪一个分区。在考虑开机组合时，首先要满足各分区的发用电平衡。

确定开机组合的步骤如下：

- (1) 处理满足安全约束的最小开机方式

对有最小开机方式要求的机组，优先进入机组组合。

- (2) 确定分区最小开机机组

分区最小开机容量=分区负荷需求-分区最大下载能力
(1)

根据分区负荷预测曲线和分区备用的需要，考虑安全约束最小开机方式机组开机容量后，根据日发电排序表顺序，逐个进入机组组合，直至满足分区最小开机容量的要求。

- (3) 确定全省剩余机组开机方式

全省最小开机容量=全省最大负荷预测-全省最大负荷时外省受电-全省分区实际开机容量之全网备用
(2)

将全省未开机机组安排序表进行开机，以达到全省最小开机容量要求。

1.2 确定跨省交易电力

在区域电网范围进行节能调度，就是在省内排序的基础上进行省间优化。区域电网节能发电调度的实质，就是各省（市）间的发电机组进行替代，边际煤耗低省份的机组替代边际煤耗高省份的机组发电。每产生一笔这样的替代，就会相应节约一定的电煤。显然，节能发电调度的目标就是实现节煤的最大化，而采用撮合的办法能够实现这一目标。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) 将省（市）的发电机组按设计煤耗由低到

高排序，煤耗低者优先满足本省。

(2) 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。

(3) 构造发电替换匹配队。具体方法为将各个省（市）的边际外机组的煤耗除以（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）的边际内机组的煤耗值减去该折算值，如果煤耗值之差大于0，则形成一个匹配对。依次循环，直至列出全部的匹配对。

(4) 将匹配对按照煤耗差由大到小进行排序，煤耗差最大者优先“中标”。该匹配对“中标”，意思就是该匹配队的两台机组进行替代发电。替代量为替代双发的可替电力和省间联络线输送能力三者的最小值。

(5) 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。

- (6) 更新省间联络线的可用容量。

(7) 转到(3)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。

在得到跨省交易电力后，根据跨省交易电力对各省的发电需求进行修正，按照1.1节的办法重新安排各省的开机机组组合。

1.3 确定开机机组发电量

一旦确定了全区的开机机组组合，就可以给各开机机组分配电量。步骤如下：

- (1) 确定各省的发电总量

省发电负荷=省需求负荷+送外省负荷-受外省负荷
(3)

省发电总量等于省发电负荷曲线的积分。

- (2) 确定各开机机组的电量分配比率系数

按照机组的煤耗排序分配比率系数，煤耗低者电量分配比例系数高，反之。

- (3) 计算机组实际分配电量

机组预分配电量=机组实际额定出力×24×机组电量分配比例系数
(4)

机组实际分配电量=机组预分配电量×全网可分配发电量/全网机组预分配电量之和
(5)

- (4) 校验分区分配电量

分区机组实际分配电量和需大于分区可分配发电量，对于小于可分配电量的分区，设定分区机组实际分配电量和等于分区可分配发电量，标记该分区为低电量分区。其余机组做相应调整，保证全省

机组实际分配电量和等于全省可分配发电量。

1.4 确定各开机机组的发电出力曲线

(1) 预分配机组发电曲线

对标记低电量的分区进行曲线分配:

机组预分配发电曲线 = 分区可分配发电曲线 × 分区曲线上调系数 × 机组最终分配发电量 / 分区内可分配机组最终分配发电量和和其它机组进行曲线分配

(6)

机组预分配发电曲线 = (全省可分配发电曲线 - 所有低电量分区(可分配曲线 × 曲线上调系数)之和) × 机组最终分配发电量 / 剩余分配机组最终分配电量和和

(7)

(2) 进行机组发电曲线纠正

保证机组分配曲线积分电量等于机组分配电量。

保证分区分配机组发电曲线和大于分区可分配发电曲线。

保证全省分配机组发电曲线等于全省可分配发电曲线。

2 节能发电调度测算及结果分析

为了分析区域电网实行节能发电调度后的省间

交换电力, 为区域电网实施节能发电提供建议, 我们对华中电网的冬季和夏季典型日进行了实施节能发电调度的模拟测算, 区域节能调度模型采用第 1 节所提出的方法。在测算中我们做以下假设:

(1) 机组排序按照《办法》所规定的顺序。

(2) 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(即 1.3 节电量分配比例系数相同)。

所得测算结果如表 1 和表 2 所示。从表 1 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 2 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。

表 1 华中电网冬季根据设计煤耗进行节能发电调度跨省交易量

Tab.1 Trans-provincial power energy of energy-saving generation dispatching in Central China regional grid in winter under designing coal consumption rate mode

方向	MW、MW·h									
	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	1191	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

表 2 华中电网夏季根据设计煤耗进行节能发电调度跨省交易量

Tab.2 Trans-provincial power energy of energy-saving generation dispatching in Central China regional grid in summer under designing coal consumption rate mode

方向	MW、MW·h									
	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	1 243	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

为了避免煤电倒送的不合理现象，同时也全面反映煤炭在运输环节的能耗，我们按各省到厂标煤价格对设计供电煤耗进行修正，然后用修正后的综合煤耗进行了节能优化调度的测算，测算结果如表

3和表4。采用了综合煤耗后跨省交易量增大，出电省主要是产煤大省河南和水电大省四川，避免了能源倒流的现象。

表3 华中电网冬季根据综合煤耗进行节能发电调度跨省交易量

Tab.3 Trans-provincial power energy of energy-saving generation dispatching in Central China regional grid in winter under comprehensive coal consumption rate mode

方向	MW、MW·h									
	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

表4 华中电网夏季根据综合煤耗进行节能发电调度跨省交易量

Tab.4 Trans-provincial power energy of energy-saving generation dispatching in Central China regional grid in summer under comprehensive coal consumption rate mode

方向	MW、MW·h									
	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

3 关于节能发电调度的思考

《办法》给出了节能发电调度的主要思路，具体的实施细节还有很多有待商榷的地方，主要表现在以下几个方面。

(1) 节能发电调度办法的有效实施直接成果是电厂发电燃煤量的减少，可以算出每千瓦小时的发电量减少了多少煤，却无法反映燃料运输损耗，燃料运输成本、固定资产投资成本、运行维护成本等因素。能源消耗是全过程的，是否真正节能应基于单位 GDP 能耗从全生命周期来考察发电的综合能耗，而综合能耗的概念和测定也是一个具有挑战性的问题。有了科学的综合能耗的定义就可以按照综

合能耗的排序进行节能发电调度。

(2) 《办法》给出的节能发电调度都是日前的发电调度，没有中长期的发电调度安排。如果取消中长期发电计划，发电企业的电力生产仅根据次日的供需情况、机组发电排序、电网约束等确定，可能给发电企业的日常生产、经营工作等带来不确定性。因此，应对适应节能发电调度的中长期发电计划进行研究，以利于发电企业有序地组织生产。

(3) 小火电机组和参与调峰、调频、备用的“边缘机组”的经济补偿问题。实施节能发电调度后，对小火电机组的冲击最大，大部分小火电机组将全年没有发电机会，如果缺乏必要的经济补偿机制，难以实现关停小火电工作的平稳、和谐推进。

(4) 测算中发现, 在区域电网各省的边际煤耗相同的机组中, 电价差别较大, 但由于煤耗相同, 按照节能发电调度规则不能进行跨省替代, 不符合市场竞争的要求, 不利于降低电网的购电成本和实现资源的优化配置。建议在进行节能发电调度中实行区域优化时, 在边际煤耗相同时, 再比较边际机组的跨省送电电价, 送电价格低的进行跨省交易。

(5) 节能发电调度的调峰问题。如果采取所有开机机组等比例调峰, 有利于调度的具体实施和跨省调度的计算, 但并未充分发挥大机组节能的优势。如果大机组满发, 调峰由边际机组来完成, 则小机组长期处于最小模式发电, 而这种模式使得机组的供电煤耗上升, 并不能真正达到节能的效果; 同时也可能存在负荷跟踪困难的问题。研究节能调度环境下的调峰、调频、备用等问题也是一个具有挑战性的课题。

4 结论

节能发电调度即将在试点省实行, 本文提出了一种区域电网节能发电调度的算法模型, 利用该模型可以制定各省市的日节能发电计划。该算法的输入为各省市电力公司进行的日负荷预测数据和发改委(经贸委)制定的机组排序表。首先确定各省市的开机机组组合; 然后进行跨省电力交换, 使得电力由边际煤耗低的省份流向边际煤耗高的省份; 最后确定开机机组的发电量和发电曲线。通过区域节能发电调度, 使得资源在全区域的范围内统一配置, 达到最大的节能减排效果。然后根据这个模型, 我们利用实际的区域电网进行了跨省交易电量分析, 得出了采用设计煤耗进行节能调度会引起“煤电倒流”的问题, 建议采用考虑电煤运输损耗等因素的综合煤耗作为节能调度机组排序的依据。文章最后对组织实施节能发电调度提出了一些问题和建议。

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] 尚金成, 周劭英, 程满. 兼顾安全与经济的电力系统优化调度协调理论[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(6): 28-33.
SHANG Jin-cheng, ZHOU Jie-ying, CHENG Man. Coordination Theory of Electric Power System Optimal Dispatch Considering Security & Economics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(6): 28-33(in Chinese).
- [4] 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).
- [5] 尚金成, 张立庆. 电力节能减排与资源优化配置技术的研究与应用[J]. 电网技术, 2007, 31(22): 58-63.
SHANG Jin-cheng, ZHANG Li-qing. Technologies Research and Application on Energy-saving, Emission-reducing and Resources Allocation Optimization in Electric Power System[J]. Power System Technology, 2007, 31(22): 58-63(in Chinese).
- [6] 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.
SHANG Jin-cheng. Research on Energy-saving Generation Dispatching Mode and Operational Mechanism Considering Market Mechanism and Government Macro-control[J]. Power System Technology, 2007, 31(24): 55-62(in Chinese).
- [7] 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.
ZHENG 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).
- [8] 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).
- [9] 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).

收稿日期: 2008-09-08; 修回日期: 2008-10-13

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: fanyh@ccpg.com.cn

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。