

一种从定性到定量的智能电网日调度方法

程 朋 慕春棣

(清华大学自动化系国家 CIMS 工程中心·北京, 100084)

摘要: 本文提出一种基于多重关联预估算法的智能调度方法, 这种智能方法实质上是一种定性决策与定量计算相结合的方法, 由于把人的知识集成到系统中, 因而能灵活地处理一些特殊事件, 以满足各种实际要求。华中电网日调度试运行表明这种从定性到定量的智能方法是解决复杂大系统优化问题的有效途径。

关键词: 智能调度方法; 电力系统; 日经济调度; 市场机制

1 引言

本文提出一种电网日经济调度的智能调度方法, 它把一些规则与多重关联预估算法结合起来, 在上层采用基于规则的智能决策, 在下层则根据电厂的不同特性分别求解火电问题和水电问题。本文还描述了一种具有新的目标函数的日调度算法, 其中考虑了边际发电费用和电力交换收益以适应目前正在试运行的市场机制下的电价核算体制。

2 智能调度方法

过去的基于 MLIPA (Multilevel interaction prediction algorithm) 的调度算法^[1]有一些缺点, 一是它的数学描述与实际不可能完全吻合; 二是当约束条件比较苛刻时可能无解或解的收敛性很差; 三是该算法不能处理一些特殊事件。而智能方法则能克服上述缺点, 它的过程如下:

1) 对全网日负荷进行分析, 把它分为基荷和峰荷两部分; 2) 根据机组开工组合情况和发电机容量, 分别确定承担基荷的电厂和调峰电厂; 3) 根据经验和规则先确定部分特定的水电厂和火电厂的出力; 4) 计算各类电厂的出力, 例如, 火电厂可根据发电费用函数用等微增原理分配出力; 5) 由调度员修正调度结果以对付某些特殊事件。

用形象的语言来打比方, 日负荷需求好比一个蛋糕, 我们先根据规则把它切成几大块, 然后再根据水电厂或火电厂的特性把某块蛋糕细分。我们用一棵二叉树(如图 1 所示)来表示上述推理过程。树的根节点是日负荷数据, 每个中间节点都是一条规则, 它有两个分支: 一个分支是由此规则得到的局部调度结果; 另一分支则是下一条规则, 以此使调度过程继续。规则 1~5 用来进行基荷分配, 规则 6、7 用来分配峰荷。这 7 条规则构成了电网智能调度的最基本的框架, 我们可以说这是一种从定性到定量的“综合集成研讨厅”体系的初级框架。在实际应用中可根据专家经验对规则库进一步丰富以达到更好的调度结果。

3 日调度算法

3.1 问题描述

电网的电力交换模型如图 2 所示。在图 2 所示的电网电力交换模型中, 它的直调电厂

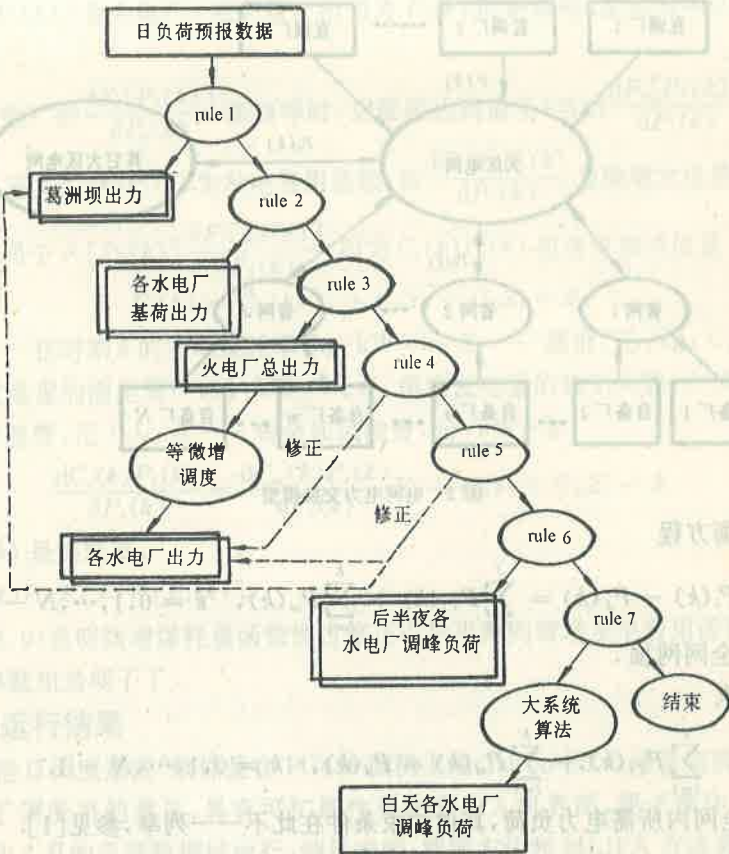


图1 电网智能调度树(华中电网)

向它输送功率,虽然大区电网这一级没有自己的负荷,但一般情况下大区电网向各省网输送功率,满足各省的电力负荷需求;但是由于各省网也有自己的自备电厂,如果在某一时段某省网自备电厂的总出力大于该省网的总负荷,就有可能向大区电网回送功率。当然,任何时刻电力平衡方程(3.2)都是要满足的。由于大区电网与各省网之间存在着电力交换,在市场经济下各电力企业之间就可以制定相应的交换电价体制以获得电力交换收益。

考虑了边际发电费用和电力交换收益的目标函数如下:

$$J = \max \sum_{k=0}^{N-1} \left[\sum_{j=0}^J d_j(k) P_{Tj}(k) + \sum_{l=1}^L d_{al}(k) P_{al}(k) - \sum_{i=1}^I C_i(k) P_i(k) \right]. \quad (3.1)$$

其中 J ——目标函数,全网总收益; I ——电网直调厂数; J ——省网数; L ——有电力交换的外大区数; $P_i(k)$ ——直调厂 i 在时段 k 的出力; $P_{Tj}(k)$ ——电网与省网 j 在时段 k 的交换功率; $P_{al}(k)$ ——电网与大区 l 在时段 k 的交换功率; $C_i(k)$ ——直调厂 i 在时段 k 的单位发电费用; $d_j(k)$ ——相应于 $P_{Tj}(k)$ 的电价; $d_{al}(k)$ ——相应于 $P_{al}(k)$ 的电价。

此目标函数的前两项表示电力交换的收益,第三项表示边际发电费用。调度的目的是使全网总收益最大。

约束条件有:

全局约束

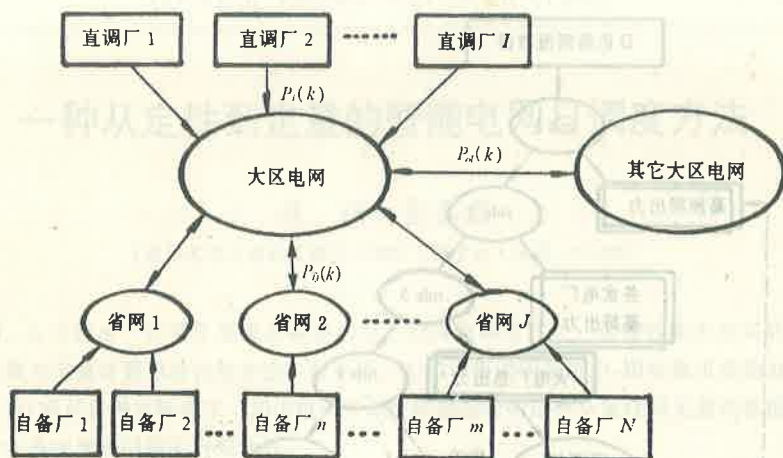


图2 电网电力交换模型

• 电力平衡方程

$$\sum_{i=1}^I P_i(k) - P_L(k) = \sum_{j=1}^J P_{Tj}(k) + \sum_{l=1}^L P_{ol}(k), \quad k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (3.2)$$

其中 $P_L(k)$ 为全网网损。

• 系统需求

$$\sum_{j=1}^J P_{Tj}(k) + \sum_{l=1}^L P_{ol}(k) = P_d(k), \quad k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (3.3)$$

其中 $P_d(k)$ 为全网内所需电力负荷, 其他约束条件在此不一一列举, 参见[1].

3.2 求解

上述求最大值的优化问题可转化为求最小值的优化问题。设

$$J' = -J = \sum_{k=0}^{N-1} \left[\sum_{i=0}^I C_i(k) P_i(k) - \sum_{j=0}^J d_j(k) P_{Tj}(k) - \sum_{l=1}^L d_{ol}(k) P_{ol}(k) \right]. \quad (3.4)$$

考虑(3.2), 不妨把 $P_{Tj}(k)$ 和 $P_{ol}(k)$ 看作常数, 它们可通过电力企业之间的协议确定。实际上(3.4)可进一步化为下述单目标优化问题。设

$$J'' = \min \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{i=0}^I C_i(k) P_i(k). \quad (3.5)$$

根据约束条件(3.2)与(3.3)我们可写出求解(3.5)的拉格朗日函数, 它是不可分的。我们先预估关联量, 把原系统分解为几个独立的子系统; 再分别求它们的最优解, 并反馈给原系统以不断修正关联量; 此过程一直持续到得出全局最优解。对大规模水火混合电网来说, 它的优化调度问题可分解成火电子问题、水电定水头子问题和水电变水头子问题[1]。这里将详细讨论火电子问题。

3.3 火电子问题

火电厂模型可用其微增煤耗费用函数来表示。其微增煤耗量函数是一个二次多项式, 如下所示:

$$\frac{dF_i[P_i(k)]}{dP_i(k)} = a_i P_i^2(k) + b_i P_i(k) + c_i. \quad (3.6)$$

其中 $F_i[P_i(k)]$ 为火电厂 i 在时段 k 出力为 $P_i(k)$ 时的煤耗, 单位为 $\text{kg/kW} \cdot \text{h}$. a_i, b_i, c_i 为常系数.

当所有火电厂的 $\frac{dF_i[P_i(k)]}{dP_i(k)}$ 都相等时, 总煤耗达到最小 (当然 $\frac{dF_i[P_i(k)]}{dP_i(k)}$ 应满足确定的特性). 本文定义 $C_i(k)P_i(k)$ 为发电费用函数; 则 $\frac{dC_i(k)P_i(k)}{dP_i(k)}$ 为微增发电费用函数. 这两个函数分别不同于 $F_i[P_i(k)] \frac{dF_i[P_i(k)]}{dP_i(k)}$, 因为 $C_i(k)P_i(k)$ 包含更多的信息. 设

$$C_i(k) = C_{ai}(k)X_i + C_{\beta i}Y_i + C_{\gamma i}Z_i + \delta_i. \quad (3.7)$$

其中 $C_{ai}(k)$ ——在时刻 k 的发电煤耗率, $\text{kg/kW} \cdot \text{h}$; X_i ——煤价, 元 / kg ; $C_{\beta i}$ ——折旧率; Y_i ——单位发电量的固定资产, 元 / $\text{kW} \cdot \text{h}$; $C_{\gamma i}$ 单位发电量的职工人数, 人 / $\text{kW} \cdot \text{h}$; $C_{\gamma i}$ 职工的工资和管理费, 元 / 人; δ_i ——税金和风险费, 元 / $\text{kW} \cdot \text{h}$.

$$\frac{dC_i(k)P_i(k)}{dP_i(k)} = \frac{dC_{ai}(k)P_i(k)}{dP_i(k)}X_i + C_{\beta i}Y_i + C_{\gamma i}Z_i + \delta_i. \quad (3.8)$$

$\because C_{ai}(k)$ 是煤耗率,

$\therefore C_{ai}(k)P_i(k) = F_i[P_i(k)]. \quad (3.9)$

(3.8), (3.9) 表明微增煤耗量函数经过修正以后可得到微增发电费用函数. 这样, 火电子问题的求解就相当明了了.

4 实现与运行结果

“电网智能日调度系统”软件是在 PC486 微机上用 Turbo C2.0 语言实现的. 在试运行中充分听取了调度员的意见, 具有可扩展性和友好的人机界面, 便于操作. 用华中电网 1993 年 6 月和 7 月的负荷数据试运行, 结果表明, 智能方法和 MLIPA 方法进行调度所得到的结果是相当接近的, 而智能调度方法更适于处理恶劣的负荷情况, 并且计算时间大大减少. 以 1993 年 7 月 13 日为例, 这一天是夏季汛期, 图 3 是用 MLIPA 方法得到的调度结果, 图 4 是用智能调度方法得到的结果.

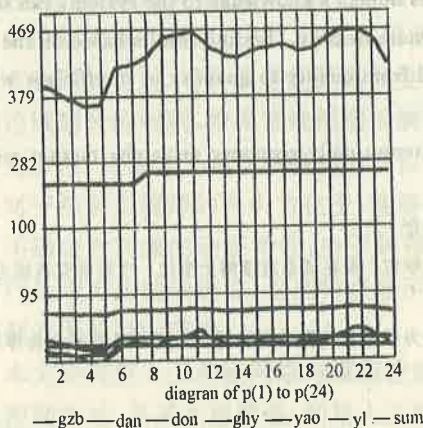


图 3 算法调度结果

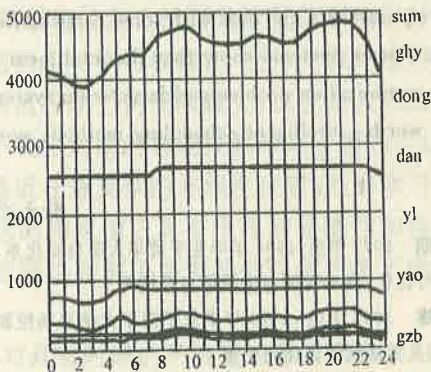


图 4 智能调度结果

从图 3、图 4 可以看出, 用两种方法得到的调度结果仅在两个调峰厂的调度曲线上有一定差别, 而智能调度曲线与实际调度结果更接近一些. 算法调度的时间一般是几秒到几分

钟,而智能调度时间仅为秒级。

5 结 论

1) 智能方法与精确计算方法相结合是求解大规模系统优化问题的有效途径——上层采用基于规则的智能决策,下层采用精确计算。这种上下层结构构成了一种从定性到定量的综合集成研讨厅体系的初级框架。

2) 为适应市场经济的发展,在电网经济调度中应考虑电力企业中的电价核算。已沿用多年的电网经济调度的目标函数也应作相应的改变。本文所介绍的工作正在得到有关电力部门的重视并付诸实施。

参 考 文 献

- [1] Zhou Junren etc. A New Multilevel Prediction Algorithm for Economic Dispatch of Large Scale Hydrothermal Power Systems. First IFAC Symposium on Design methods of Control Systems, Zurich Switzerland. 1991, Zurich
- [2] 陈德裕. 三峡电站向华中、华东和川东送电的优化. 中国电力, 1994, (2):
- [3] 于尔铿. 改革开放形势下的电力系统经济调度. 电网技术, 1994
- [4] 戴汝为. 人机结合的“大成智慧”. 第二届全国智能控制专家讨论会论文集, 1994

An Intelligent Method from Quality to Quantity for Daily Dispatch of Power Systems

CHENG Peng and MU Chundi

(Department of Automation, Tsinghua University • Beijing, 100084, PRC)

Abstract: This Paper presents an intelligent method based on the multilevel interaction prediction algorithm (MLIPA). The intelligent method which integrates human's knowledge to the system, can satisfy various requirements and deal with some particular events more flexibly. Testing results based on the Centre China Power Systems show that the intelligent method from quality to quantity is an efficient way to solve the optimization problems of large scale systems.

Key words: intelligent scheduling method; power systems; daily economic dispatch; market mechanism

本文作者简介

程 朋 1973 年生, 1994 年毕业于清华大学自动化系, 获学士学位。现在该系攻读博士学位。主要研究领域为大系统的控制与优化; 集成管理与决策信息系统等。

慕春棣 1946 年生。1970 年毕业于清华大学自动控制系。现为该校自动化系副教授。主要研究领域为鲁棒控制, 智能控制, 及大系统的优化与决策。