

四川电网节能减排发电实时调度优化模型的研究

王超

(四川省电力公司调度中心, 四川 成都 610041)

摘要:四川省作为国家第一批实施节能发电调度的试点省份之一,在落实节能减排政策过程中,面临巨大挑战。研究了适用于电网调度员节能减排发电实时调度的优化模型,以指导调度员实时发电调度。该模型依据节能减排发电排序表,结合四川电网发电运行特点,采用小步长最优次序法,以发电能耗最少为目标函数,并以实例计算验证了该模型的正确性。

关键词:节能减排;发电调度;小步长最优次序法

Abstracts: Sichuan is one of the first group experiment provinces of the energy-saving generation dispatching. During carrying on the energy-saving policy, there are great challenges. The real-time generation dispatching optimization model of saving energy and reducing emission is studied, which is useful for grid dispatchers and instructs their real-time dispatching. This model, which is based on the sorting list of the energy-saving generation and the characteristics of generation operation in Sichuan power grid, is used by the way of Merit-Order-Based Dispatch. Its objective function is the minimum consumption of the generation energy. The model is proved accurate by the example computation.

Key words: saving energy and reducing emission; generation dispatching; Merit-Order-Based Dispatch

中图分类号:TM734 文献标识码:A 文章编号:1003-6954(2008)01-0066-03

2007年8月,国务院国资委在京召开中央企业节能减排工作会议,落实《节能减排综合性工作方案》,同期,国务院办公厅印发《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》,指出改革现行发电调度方式,开展节能发电调度,减少能源消耗和污染物排放。四川省作为第一批实施节能发电调度的5个试点省份之一,四川电网调度员如何从传统发电调度模式转变为节能发电模式,面临巨大的压力,需要不断摸索和实践。从目前的文献资料^[1,2,3]来看,对节能发电调度,更多的从政策、策略方面探讨和研究,或者针对日前发电计划来建立优化模型^[4,5],而针对电网调度员实时发电调度的优化模型研究却很少。

因此,下面将依据节能减排发电调度原则,并结合四川电网发电运行特点,研究建立适用于电网调度员实时节能发电调度的优化模型。

1 节能减排发电调度原则

《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》指出,节能发电调度的基本原则是:以

确保电力系统安全稳定运行和连续供电为前提,以节能、环保为目标,通过对各类发电机组按能耗和污染物排放水平排序,以分省排序、区域内优化、区域间协调的方式,实施优化调度,努力做到单位电能生产中能耗和污染物排放最少。

该文件规定,机组发电排序的序位表(以下简称排序表)是节能发电调度的主要依据。各省(区、市)的排序表由省级人民政府责成其发展改革委(经贸委)组织编制,并根据机组投产和实际运行情况及时调整。这个排序将是今后电力调度的主要依据,适用于所有并网运行的发电机组。

2 四川电网发电运行特点简介

四川作为全国水电资源大省,电网水火电并存,水电比重大,截止2007年6月底,四川电网统调统分装机容量21.7936GW,其中火电机组57台,占41.19%,水电机组250台,占58.81%。为充分利用水力资源,四川电网发电运行有不同于其它省级电网的鲜明特点。

1) 水电厂水库调节能力差。网内具有季调节及

以上水库调节能力的水电厂只有二滩、宝珠寺等 6 个,其余水电站均为径流式、日、周调节水库,不具备有效的调节能力,只能按天然来水发电,在来水最少时发电能力仅为最大发电能力的 30%,而在丰水期来水超过发电引用流量或者为满足电网调峰需要时,径流式电站不得不弃水,无法充分利用水资源。因此,四川电网供电能力受来水的影响,呈现明显的季节性特点,即枯水期电量偏紧、丰水期电量富余。按照节能减排、经济高效利用再生资源的原则,丰水期,季调节及以上水库调节能力的水电厂,以蓄水调峰为主,承担电网调频、调峰、发电及事故备用,力争多发电量;而调节性能差的径流式、日、周调节电站充分利用水量多发电量。枯水期季调节及以上水库调节能力的水电厂年末按来水发电,保持高水位运行,以降低发电耗水率,多发电量。平水期,具有季调节及以上水库调节能力的水电厂在 10、11、12 月,逐渐蓄水保持高水位,年初(1~5 月)按计划消落水位,做好丰水期蓄水准备,其余水电厂按来水发电。

2) 火电机组调峰能力差。近年来,由于煤质差等原因造成火电机组调峰能力大幅降低,大大增加丰水期水电调峰压力。另一方面,为满足电网高峰时段负荷需求,电网不得不安排相对较多的火电机组运行,同时也增加了水电调峰弃水损失电量,对充分利用水能资源,提高电网运行经济性造成非常不利影响。

3) 水火电在不同季节、单日不同时段发电负荷变化大。从四川电网丰枯期典型日用电负荷曲线可以看出,枯水期峰谷差达 3 923 MW,负荷率为 81.62%,丰水期峰谷差达 4 646 MW,负荷率为 79.37%。一方面,枯水期,在全网负荷低谷和平段期间,调节性能差的水电厂必须减少发电出力蓄水,以满足高峰时段负荷需求,火电机组基本高出力运行,并局部参与调峰。另一方面,丰水期,水电多发,火电机组除高峰时段增加发电出力外,其余时段基本保持低负荷,并参与调峰。

4) 各流域来水受气候影响大,各水电厂来水情况不明朗。天气变化不定,从 2006 年大旱和 2007 年上半年洪涝灾害气候来看,青衣江、大渡河、岷江流域水电厂 8 月份多次出现停机避峰和来水骤减交替发生的情况,发电负荷变化非常大,给调度员实时运行发电安排带来非常大困难。

5) 全网煤耗逐渐降低。2006 年以来,随着云谭、

广安、金堂等单机 300 MW 及以上容量机组的投产,以及江油、成都、攀枝花等小火电机组的退役,火电标准煤耗逐步降低。

针对以上运行特点,省级电网调度员在实时发电调度中,除了参照各电厂计划曲线外,还应根据负荷预测结果,在满足电网安全、稳定运行的前提下,按照节能减排策略,科学合理安排发电。因此,如何科学合理地根据不同季节、不同时段、实时地改变已有发电厂排序次序进行发电调度,降低发电调度的盲目性,是调度员必须解决的问题。

在四川电网中,风能、太阳能等可再生能源比重很少,不到 1%。另一方面,考虑电网安全稳定运行因素,进入 AGC 调整容量的机组不参与排序。因此不考虑这两类能源发电机组的优化问题,而主要研究水电和火电机组按节能减排原则调度的优化模型。

考虑到电网调度员值班时间一般为 8 个小时,因此,调度员根据电网实际运行情况,对不同季节、不同时段发电调度的重新排序,以负荷预测 1~8 h 的间隔时段比较合理,特殊时段(如负荷变化特殊、或者电网突发事件)也适用。对发电机组重新排序结果,如表 1 所示。其中,次序 1、2、3 表示先后次序,①代表径流式水电机组类;②代表季调节及以上水库机组类;③代表火电机组类。

表 1 发电排序表

次序	丰水期			平水期			枯水期		
	低谷	平段	高峰	低谷	平段	高峰	低谷	平段	高峰
1	①	①	①	①	③	①	③	③	①
2	②	②	②	②	②	②	②	②	②
3	③	③	③	③	①	③	①	①	③

3 建立优化模型

由于负荷预测精度、天气和事故等因素,日前市场给出的交易计划与电网实际运行的情况会有一定差别,因此,调度员参考发电计划,根据下一个调度时段的发电厂排序和超短期负荷预报,考虑机组限值和爬坡速率情况下,在满足系统安全稳定运行的基础上,按发电能耗最小的目标安排各机组实际发电计划。

在实时调度中,如果需要在日前预调度计划基础上增加购买电量,比如超短期负荷预测比日前负荷预

测值高,则实时调度为上调调度。否则,如果需要减少日前购买的电量,则实时调度为下调调度。

根据排序表,在上调市场中,找出排序最前的机组上调,下调市场中找出排序最后的机组下调。上/下调排序可以是全容量(从最小技术出力到最大出力)。但是上调曲线只有在容量大于预调度计划的部分才有意义,下调曲线只有在容量小于预调度计划的部分才有意义。

3.1 优化模型函数

电力系统为非线性系统,在某一运行点处做一阶Taylor展开可得到线性近似模型。实时平衡市场是在发电计划曲线结果的基础上进行调整,所以采用了线性化的增量交易模型,列写如下:

$$\min f(\Delta P) = \sum_{i \in NG} C_i(\Delta P_i) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in NG} \Delta P_i = \Delta P_{NET} \quad (2)$$

$$\Delta L = S^* \cdot \Delta P \quad (3)$$

$$\Delta G = A \cdot \Delta L \quad (4)$$

$$\Delta L_{\min} \leq \Delta L \leq \Delta L_{\max} \quad (5)$$

$$\Delta G_{\min} \leq \Delta G \leq \Delta G_{\max} \quad (6)$$

$$\Delta P_{\min} \leq \Delta P \leq \Delta P_{\max} \quad (7)$$

式中: ΔP 为机组有功调整矢量; NG 是机组所在节点的集合; $C_i(\Delta P_i)$ 是机组 i 出力增加 ΔP_i 所增加的能耗; C_i 是机组单位发电能耗指标,具体数值由发改委(或经委)确定。 ΔP_{NET} 是全网功率调整总量。 ΔL 和 ΔG 分别是线路和断面的有功潮流变化。 ΔP_{\min} 和 ΔP_{\max} 是机组的出力极限约束(包含爬坡速率约束), ΔL_{\min} 和 ΔL_{\max} 是线路的功率变化约束, ΔG_{\min} 和 ΔG_{\max} 是断面的功率变化约束。 S^* 是灵敏度矩阵, A 是断面—线路关联矩阵。

式(1)~(7)中,约束均为线性表达式,只有目标函数比较复杂。市场模式下,它可以用分段水平线表示,此时的模型为分段线性规划模型。

模型中考虑的电网安全约束主要包括线路热稳定极限和断面的暂态稳定极限。暂态稳定极限采用离线计算出的极限值,并包括正向极限 G_{pos} 和 G_{neg} 反向极限。在实时调度中,根据开关的遥信来判断线路是否运行,从而选择合适运行方式下的断面暂稳极限。

式(2)~(7)中的增量约束只要在开始前计算好,在迭代中不需要重新计算。

$$\Delta P_{NET} = F + X - \sum_{i=1}^{UN} P_{0i} \quad (8)$$

$$\Delta P_{\min} = P_{\min} - P_0 \quad (9)$$

$$\Delta P_{\max} = P_{\max} - P_0 \quad (10)$$

$$\Delta L_{\min} = -L_{\max} - L_0 \quad (11)$$

$$\Delta L_{\max} = L_{\max} - L_0 \quad (12)$$

$$\Delta G_{\min} = -G_{\text{neg}} - G_0 \quad (13)$$

$$\Delta G_{\max} = G_{\text{pos}} - G_0 \quad (14)$$

式中: F 是超短期负荷预测的负荷值; X 是区域交换计划值; P_0 是日前发电计划; L_0 和 G_0 分别是初始状态下线路和断面的潮流; L_M 是线路热稳定约束矢量; G_{pos} 和 G_{neg} 是断面正向和反向暂态稳定极限。

3.2 小步长最优次序法

最优次序法来源于用在经济调度中的等微增率原理,因其计算快速并且鲁棒性好,得到了广泛应用。

图1为最优次序法的计算流程框图。

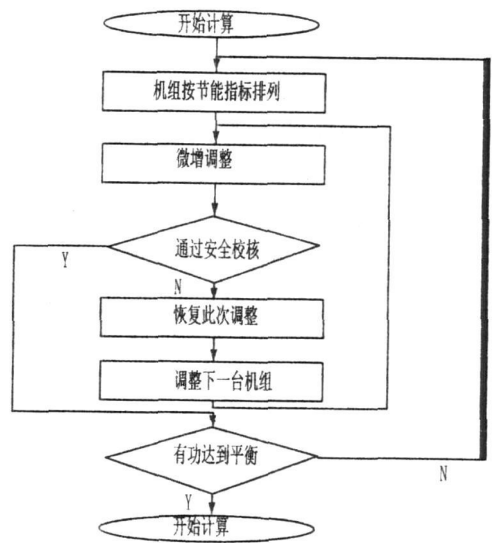


图1 计算流程框图

设系统不平衡功率为 ΔP_{NET} , 机组每次调节小步长为 δ , 当 $\Delta P_{NET} > 0$ 时 $\delta > 0$, 当 $\Delta P_{NET} < 0$ 时 $\delta < 0$ 。此时算法流程可以描述为:

① 形成初始机组排序表, 机组调整计划全部清零, 设置发电调节总量 ΔP 为 0。

② 根据机组的预调度计划、调整计划及实时运行情况, 并参考节能减排指标, 对机组进行排序, 如果是上调调度按由先到后的顺序排序, 如果是下调调度按由后到先的顺序排序。

③ 设置开始调节机组编号 $i=0$ 。

④ 选排从编号为 i 开始排在前边相同的 n 台可

调机组加入到可调机组集合 Ω 中。如果 Ω 为空,那么系统中没有充足的可调发电消除不平衡功率,退出计算。

⑤ 逐台校验这 n 台机组如果调节一个小步长 δ 后是否满足机组技术出力限制、机组爬坡约束、备用和 AGC 机组可调范围约束等机组可调范围约束。从可调机组集合 Ω 中删除不满足约束的机组,并记录是什么约束导致的机组不参加调解。

⑥ 逐台校验可调机组集合 Ω 中可调机组在调节小步长 δ 后是否满足网络安全约束,可以采用直流潮流模型也可以采用交流潮流模型。从可调机组集合引起网络安全隐患的机组,并记录不可调机组是在什么条件下引起什么元件越限了什么约束(线路传输功率、断面传输功率或母线电压等)。

⑦ 检查可调机组集合 Ω 是否为空,如果 Ω 为空转到步骤③,并设置 $i = i + n$,如果 Ω 不为空将其中每台可调机组的调整计划加上调节小步长 δ , ΔP 加上 Ω 中所有机组的总调节发电量。

⑧ 如果 $|\Delta P| \geq |\Delta P_{NET}|$ 跳到步骤⑨,如果 $|\Delta P| < |\Delta P_{NET}|$ 跳到步骤②。

⑨ 计算结束,形成平衡计划。

3.3 计算实例

以四川电网中水火电并存的川西以及眉山、乐山地区电厂为例,这些地区包括 43 个径流式水电站(可调节容量 6 794.8 MW)、3 个季调节及以上水电站(可调节容量 1 560 MW)、10 个火电厂(6 个燃煤、4 个燃气,可调节容量 2 432.2 MW)。限于篇幅,仅以丰水期低谷和枯水期低谷上调调度情况的计算结果来说明模型的正确性。

表 2 丰水期低谷实时发电优化表

(单位:MW)

电厂	计划出力	调整出力	未满足发电厂
径流式水电	6 462.5	+193.56	共 9 个
季调节水电	1 345	+214.83	
火电	655	金堂+74.53	均未满足
合计	8 462.5	+382.92	

表 2 是丰水期低谷时段节能发电调度计算结果,可知:在功率缺额 382.92 MW 情况下,水电在完成日前发电计划基础上,首先将安排径流式水电满发,未满足发电厂(如龚嘴、冷竹关、小关子、阿坝地区水电厂)受电网稳定要求限制,其次安排季调节及以上水电参

与部分电力调节,剩余电力调节由金堂电厂完成调节,其余火电机组基本在最低技术出力运行。

表 3 丰水期低谷实时发电优化表

(单位:MW)

电厂	计划出力	调整出力	未满足发电厂
火电	2 166.2	+246.19	
季调节水电	1 245	+313.0	
径流式水电	655	+129.75	共 38 个
合计	8 462.5	+688.94	

表 3 是枯水期低谷时段节能发电调度计算结果,可知:在功率缺额 688.94 MW 情况下,水电来水较少,为满足高峰时段负荷需求,安排具有日、周调节能力的径流式水电厂蓄水,首先安排火电满发,季调节以上水电参与部分电力调节,尽量保持高水位,剩余电力再由径流式水电完成调节。

从以上分析中,可以看出,四川电网在不同时期的发电调度具有很大的差异,这些差异,都需要调度员根据当值电网运行情况,依据节能减排策略,采取适用的发电调度优化模型方案,以达到充分利用能源、合理降低能耗的目的。

4 结论

通过以上分析和研究,并以实例计算可知,研究的节能减排发电实时调度优化模型,结合四川电网发电运行特点,非常适用于电网调度员实时发电调度,可协助调度员从传统发电调度模式向节能减排调度模式转变,有效地适应了国家节能降耗的经济发展战略。

参考文献

- [1] 赵风云. 对新型节能发电调度方式的探讨[J]. 电业政策研究, 2007, (3): 23-24.
- [2] 白建化, 张风营. 发电调度电力降耗突破口[J]. 中国电力企业管理, 2007, (2): 22-23.
- [3] 梁志宏. 集散式交易模式节能调度的有效选择[J]. 中国电力企业管理, 2007, (3): 13-15.
- [4] 马瑞. 考虑水火协调的多目标优化分组分段竞标模型[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(11): 53-57.
- [5] 赵永龙, 牛蓓. 四川电网水电运行管理探讨[J]. 四川水力发电, 2004, 23(3): 81-83.

(收稿日期: 2007-12-18)