

辽宁电网责任频率调整策略分析

鲁顺¹,高立群¹,王珂¹,魏庆海²

(1. 东北大学信息科学与工程学院,辽宁 沈阳 110004; 2 辽宁省电力有限公司,辽宁 沈阳 110006)

摘要: 在统计 2001 年辽宁电网责任频率越限情况的基础上,深入分析总结了越限原因,结合理论分析和调度运行实际情况,提出频率调整策略,为调度运行提供指导和建议。2002 年实施后,取得了明显的效果,降低了辽宁电网在东北电网频率越限责任中的比率,提高了责任频率合格率,进而提高了电能质量,取得很大经济和社会效益。

关键词: 互联网网; 频率调整; 电力系统

中图分类号: TM711 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)15-0086-04

0 引言

电网频率是电能质量的一个重要指标,同时电网频率的质量体现了电网的管理水平。大区联网后责任频率的调整是电网调度机构的重要工作内容之一。辽宁电网责任频率质量直接关系到东北电网频率质量。如何不断提高电网责任频率合格率,是调度运行人员一直探索的问题。

全国一流电网调度机构考评条件中关于电网频率调整的规定为:频率允许偏差范围为(50 ± 0.1) Hz,频率统计采样周期为 1 s,跨省电网中网调和各省调度机构年责任频率合格率大于等于按全年网频率合格率考核标准分解到各网、省调的目标值;保证电网频率合格,年责任频率合格率连续两年(含考核年) 99.9%。2001 年辽宁责任频率合格率为 99.99%。

2001 年东北电网频率越限责任中东北分公司承担 34.89%,吉林承担 0.44%,黑龙江承担 8.74%,而辽宁承担 55.92%,高居榜首。这虽然与辽宁地区负荷重、波动大、峰谷差大等客观因素有很大关系,但调度运行人员深入分析越限原因,研究存在问题及总结以前的调整经验,制定提高责任频率合格率的调整策略,进一步提高责任频率质量,是非常必要和可行的。

1 辽宁电网责任频率调整情况

1.1 东北电网频率管理模式

东北电网调度管理模式如图 1 所示^[1]:辽宁、吉林、黑龙江 3 个省调负责 ACE(区域控制偏差)曲线的调整,在东北、华北解网运行方式下,东北网调负责电网频率调整;在东北、华北联网运行方式下,华

北网调负责频率调整,东北网调负责网间联络线潮流的调整。东北网调负责联络线计划的制定及 3 省 ACE 曲线的考核^[4]。省调 ACE 曲线的质量直接影响到整个电网的频率质量。2002 年全年东北、华北解网方式运行时间为 2 787.05 h,占全年的 31.82%。

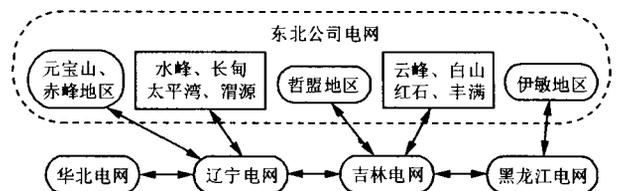


图 1 东北电网管理模式示意图

Fig 1 Schematic diagram of Northeast China power system management mode

1.2 2001 年责任频率情况

辽宁是中国的老工业基地,工业负荷比重大,负荷波动剧烈,2001 年辽宁电网日均发电电力峰谷差 2 600 MW 左右,最大峰谷差达到 3 510 MW,所以频率调整难度非常大。

辽宁电网 2001 年责任频率越限情况:(50 ± 0.2) Hz 越限 2 次,共 168 s;(50 ± 0.1) Hz 越限(包括大机组跳闸时间)共 2 897.6 s。

(50 ± 0.2) Hz 越限情况:一次为绥中 #2 机故障跳闸,出力由 600 MW 甩到 0;另一次因东北公司元宝山厂 #2 机甩负荷,出力由 500 MW 降至 50 MW,甩负荷前辽宁 ACE 曲线在正常范围,但 AGC 调整容量不够,加出力速度慢未能及时将曲线调到正常范围。

统计(50 ± 0.1) Hz 越限情况:越下限共 990 s,占 40.28%,越上限 1 467.87 s,占 59.72%。

1.3 责任频率越限原因分析

责任频率越限各种原因统计如表 1。

表 1 2001 年责任频率超限 (50 ± 0.1) Hz
原因及情况统计表

Tab 1 Statistics of causes and circumstances of responsibility frequency beyond restriction (50 ± 0.1) Hz in 2001

序号	主要原因	出现次数	出现频率 / (%)	累计时间 / s	累积时间比率 / (%)
1	大机组跳闸或甩出力	9	33.33	718	29.21
2	低谷调峰困难	5	18.52	657.5	26.77
3	负荷预测偏差大	6	22.22	447.62	18.21
4	调度员调整不当	5	18.52	400.53	16.29
5	其他网、省调曲线异常影响	2	7.40	192.93	7.85

2 互联电网的频率调整理论分析

2.1 联网联络线潮流与系统频率的关系

互联电网的静态频率特性取决于系统负荷的静态频率特性和系统发电机的静态频率特性^[5], 可以表示为:

$$\frac{P}{P_0} = - (K_{G,eq} + K_{L,eq}) \frac{f}{f_0} \quad (1)$$

式中: P 为系统负荷变化量, 它是发电机出力变化量 (增量取正) 与负荷变化量 (增量取负) 的代数和; $K_{G,eq}$ 为系统发电机等值频率调节系数; $K_{L,eq}$ 为系统负荷的等值频率调节系数; f_0 为电网运行额定频率; P_0 为系统机组总出力。

分析式 (1) 可知, 对于不同的系统运行方式, $K_{G,eq}$ 、 $K_{L,eq}$ 的变动范围较大, 出现相同的频率偏差 f 时, 系统对应的功率缺额 P 变化范围也较大, 因此互联电网频率的调整非常困难^[3]。

系统中负荷突增或机组跳闸时, 系统频率随之变化, 对应的功率缺额在扰动瞬间是近似依据同步功率系统矩阵中的对应元素分配到各发电机上的, 电气距离近的地区分配的多一些, 电气距离远的地区分配的少一些。从扰动瞬间到稳态的过程中, 系统中所有负荷微量变化的总和与发电机出力的变化量相当, 从而在新频率下达到发电机出力与负荷平衡。该平衡是全系统负荷与发电机共同作用的结果, 系统中的潮流有一个重新分配的过程, 从而导致联络线上潮流的波动。区域互联电网间联络线潮流的变化最明显, 由于它集中了一个或几个区域负荷的频率效应。这种潮流的变化与负荷水平的关系非常大, 区域间的联络线所联接的两侧区域负荷的比值决定了该联络线上潮流变化的幅度^[1]。

2.2 互联电网的频率调整

假定系统 1、2 的负荷变化量分别为 P_{L1} 和 P_{L2} , 由二次调频增发的功率分别为 P_{G1} 和 P_{G2} ,

系统的频率特性系数分别为 K_1 和 K_2 , 联络线功率增量为 P_{12} , 设由系统 1 流向系统 2 的潮流为正, 系统 1 的功率平衡方程为^[2]:

$$P_{L1} + P_{12} - P_{G1} = -K_1 f \quad (2)$$

系统 2 的功率平衡方程为:

$$P_{L2} - P_{12} - P_{G2} = -K_2 f \quad (3)$$

由式 (2)、(3) 可解得:

$$f = - [(P_{L1} + P_{L2}) - (P_{G1} + P_{G2})] / (K_1 + K_2) \quad (4)$$

$$P_{12} = [K_1 (P_{L2} - P_{G2}) - K_2 (P_{L1} - P_{G1})] / (K_1 + K_2) \quad (5)$$

分析式 (4)、(5) 可知, 如互联系统发电机组的二次调整功率 P_G 与负荷增量 P_L 相抵消, 则 $f=0$; 如 $P_G=0$, 即发电功率未发生二次调整, P_L 最大时 f 最大; 而介于两者之间进行二次调整且 $P_G < P_L$ 时, 出现了频率偏差^[6]。从实际运行的一些情况看, 考核方案存在一些不确定因素, 需要具体情况具体分析。例如东北电网公司元宝山厂机组跳闸, 频率越下限, 元董 #1、#2 线潮流显著下降, 辽宁 ACE 曲线越上限, 此时不应承担责任频率, 按考核方案辽宁应减出力, 但这种情况下应听网调令调整加出力有利于电网频率尽快恢复; 吉林、龙江电网机组跳闸时, 辽宁 ACE 曲线越下限承担频率责任情况时有发生, 时间较短仅几秒, 但这种情况下辽宁不应承担频率责任。

3 责任频率调整策略

3.1 加强对机组的管理

3.1.1 加强机组的安全稳定运行

减少大机组跳闸或甩出力情况, 无疑可大幅提高责任频率合格率。从机组故障原因看, 主要是设备维护和运行问题。要坚持新机达标投产的严格考核, 提高已投运行机组的维护质量, 及早消除引起机组跳闸的隐患和缺陷, 加强机组检修质量的控制。

提高电网调度部门对发电公司机组稳定运行的考核力度, 对多次或连续机组非计划停运按有关规程规定进行严格考核, 必要时通报其主管发电公司。

3.1.2 加强火电机组低谷调峰管理

目前辽宁电网 200 MW 机组最低仅带 70% 负荷稳定燃烧。华东、华北地区 200 MW 机组调峰能力为 50%。在辽宁电网峰谷差不断增大的情况下, 可以通过考核手段敦促火电厂通过改进锅炉燃烧系统等手段加大低谷调峰力度。

调度运行人员根据电源尖峰旋转备用容量和低

谷可调整容量建议相关领导合理安排火电机组的关停。

3.1.3 抓好 AGC 机组管理工作

实践证明, AGC 机组出力对自然变化的负荷有很好的跟踪能力, 此类机组在 ACE 曲线和频率调整中发挥了不可替代的作用。目前锦州、能港、丹东、大连湾等电厂机组 AGC 装置达到了实用要求, 辽宁省公司制定了根据机组调整电量实施奖励的相关措施, 调动了各厂机组参与调整的积极性。但运行中仍存在很多问题, 例如尖峰时部分机组加快减慢, 部分机组跟踪速度慢等, 须加强管理, 重视已投 AGC 机组的可用率。

3.2 提高负荷预测的精度

目前辽宁电力市场火电机组发电计划均依据前一天本时段负荷预测值计算各机组的发电计划。而日负荷预测在天气变化剧烈或者节假日时的准确率比较低。因负荷预测偏差大造成调整困难而直接导致频率不合格的情况较多。

日负荷预测立足于 96 点, 要掌握每天、每小时、每刻钟的负荷变化规律, 加强预测误差的跟踪。注意原始资料的积累, 尤其是气象因素及其他偶然因素对负荷的影响。开发新负荷预测软件时调度运行人员积极参与, 将现代控制领域很多实用的新算法如自组织特征映射算法和启发式算法等应用到负荷分类中, 应用自适应模糊神经网络等新模型进行预测, 开发使用并不断修正, 及时加入各种经验所得的影响因素。

利用超短期负荷预报, 当值调度运行人员在线修改气象因子, 提高负荷预测准确率。通过调度员的精心工作, 全年 114 天节假日及气象变化剧烈情况下的预测准确率有明显提高。以上措施实施后, 辽宁电网日负荷预测准确率由 2001 年的 97.825% 提高到 2002 年的 97.927%, 提高了 0.102%。

3.3 合理使用有限的水电

辽宁省调直调的水电机组总容量仅 455.5 MW。水电机组相对火电机组开机和调整出力速度快, 在提高频率和 ACE 曲线质量, 减少火电机组反复调整等方面起着举足轻重的作用。在调整中注意避开水电机组出力震动区, 减少机组频繁关停。在枯水期应将水电开机分布在负荷上升斜率最大时段。

考虑辽宁省公司实行峰谷分时电价因素为降低购电成本, 除事故和异常情况外, 水电应尽量用在尖峰时段。

3.4 调度运行人员的调整经验分析

调度员是电网运行的直接指挥者, 电厂机组出力调整根据调度命令执行。调度员应根据季节、天气、温度、节假日、重大活动等因素, 掌握一天的负荷变化规律, 尤其是峰、谷转折点的负荷变化, 提前调整。对负荷涨落较快、容易造成 ACE 曲线越限的时段加强监视, 有效利用水电。每个调度员的调整手段因人而异, 但根本还是熟练掌握机组的加减出力特性, 摸清每日、每时段负荷变化特性, 在各厂发电计划基础上, 兼顾经济性, 合理调整。

调度员接班后应详细了解各厂运行情况, 包括机组起停、因设备缺陷或线路停电限制出力等, 准确估算各时段负荷变化情况、电源调整裕度情况、每台机组出力加减裕度, 基于电力市场发电计划, 调整裕度分配, 做到心中有数。防止只看曲线变化临时指挥, 任意加减。尽量减少超调, 同时避免不必要的频繁调整。

4 应用效果

通过以上分析总结, 所得策略 2002 年在辽宁省调实施后, 辽宁责任频率在东北电网四家中承担比率由 2001 年的 55.92% 降到 2002 年的 46.77%, 降低 9.15%。联络线越限频度不断下降。2002 年责任频率 (50 ± 0.1) Hz 越限总计 2574.8 s, 比 2001 年下降 11.14%, 统计各种原因造成频率越限情况, 结果见表 2。2001、2002 年各种原因造成频率越限情况比较如图 2 所示。

表 2 2002 年责任频率越限 (50 ± 0.1) Hz 原因及情况统计表

Tab 2 Statistics of causes and circumstances of responsibility frequency beyond restriction (50 ± 0.1) Hz in 2002

序号	主要原因	出现次数	累计时间 /s	累积时间比率 / (%)
1	机组跳闸或甩出力	9	603	29.92
2	低谷调峰困难	6	597.25	29.64
3	负荷预测偏差大	6	423.54	21.02
4	出力调整跟不上负荷波动	5	265	13.15
5	其他网、省调曲线异常影响	2	93.46	4.64

5 巩固措施

1) 加强调度运行人员培训, 使每一位调度员均能熟练掌握频率及联络线调整方法与技巧, 遇到负荷波动大的情况时能果断处理。

2) 通过运行实践进一步总结经验, 不断修正责任频率调整策略。

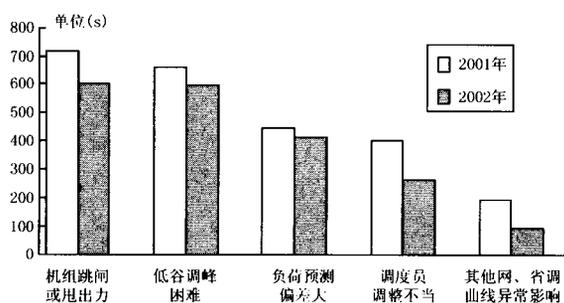


图 2 2001、2002年各种原因造成责任频率 (50 ± 0.1) Hz 越限情况比较图

Fig 2 Comparative bar-type graph of causes of responsibility frequency beyond restriction (50 ± 0.1) Hz in 2001 and 2002

3) 针对典型频率及 ACE 曲线越限情况进行仔细分析,找出原因并总结调整经验。

参考文献:

- [1] 魏庆海,鲁顺,范东春,等.东北电网频率与联络线潮流的关系[J].电网技术,2004,28(6):22-25.
WEI Qing-hai, LU Shun, FAN Dong-chun, et al Relation of Frequency in Northeast Power Grid to Power Flow in Tie-line Between Northeast and North China Power Grids [J]. Power System Technology, 2004, 28 (6) : 22-25.
- [2] 唐跃中. AGC 按联络线偏差控制时频率偏差系数的确定[J].电网技术,1997,21(6):5-7.
TANG Yue-zhong Principles of Getting a Rational Area Frequency Bias in AGC of Tie-line Bias Control Model [J]. Power System Technology, 1997, 21 (6) : 5-7.
- [3] 樊福而.大电网频率与潮流问题[J].电网技术,2000,24(6):27-30.
FAN Fu-er Frequency and Power Flow of Interconnected

Large Power System [J]. Power System Technology, 2000, 24 (6) : 27-30.

- [4] 杨小煜,沈松林,吴杏平,等.华北、东北联网后华北电网自动发电控制 (AGC) 及其考核的实现 [J]. 电网技术, 2001, 25 (7) : 60-62
YANG Xiao-yu, SHEN Song-lin, WU Xing-ping, et al Implementation of Automatic Generation Control in North China Power Grid and Its Assessment after Interconnection of North China Power Grid with Northeast China Power Grid [J]. Power System Technology, 2001, 25 (7) : 60 - 62.
- [5] 东北电业管理局调度通信中心. 电力系统运行操作和计算 [M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1996
Dispatch and Communication Center of Northeast China Power Administration Power System Operation and Calculation [M]. Shenyang: Liaoning Scientific and Technological Press, 1996.
- [6] 陈珩. 电力稳态分析 [M]. 北京:中国电力出版社,1995.
CHEN Heng Power System Stability Analysis [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

收稿日期: 2004-11-10; 修回日期: 2005-01-07

作者简介:

鲁顺 (1971 -), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事电网调度运行及电力市场研究与应用工作; E-mail: lshun0@163.com

高立群 (1949 -), 男, 教授, 博士生导师, 从事现代控制理论及电力系统研究工作;

王珂 (1957 -), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事电力系统研究工作。

Analysis of responsibility frequency regulation strategies of Liaoning power grid

LU Shun¹, GAO Li-qun¹, WANG Ke¹, WEI Qing-hai²

(1. School of Information Science and Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, China;

2. Liaoning Provincial Electric Power Co., Ltd., Shenyang 110006, China)

Abstract: Based on statistics of responsibility frequency beyond restriction in Liaoning power grid in 2001, this paper analyzes and summarizes the causes beyond restriction. Combining theoretical analysis and operation dispatching practice, it brings forward the strategies of frequency regulation and control, and provides the guidance and suggestion for operation dispatching as well. After being implemented, the strategies are proved to be effective, such as reducing the ratio of responsibility frequency beyond restriction of Liaoning power grid in Northeast power grid and raising the qualified ratio of responsibility frequency. Consequently the quality of electric energy raised, and great economic and social benefit gained.

Key words: interconnected power grids; frequency control; power system

(上接第 12 页 continued from page 12)

distance relays. Because the impedance relay has the feature one, impedance relay of section is regarded as the backup protection of section and section in any case. The variety of the primary system's structure, parameter, operating point and short-circuit style influences the cooperation of three-section distance relays. If the feature of the section distance relay's sub-circuit impedance can't comprise that of the section and section, the section can't act as the backup protection.

Key words: impedance relay; distance relay; measuring impedance; sub-circuit impedance; backup protection