

# 日发电计划安全校核系统开发与应用

丁 恰<sup>1</sup>, 王 岗<sup>2</sup>, 唐 然<sup>1</sup>, 杨乐勇<sup>1</sup>, 张丙金<sup>1</sup>

(1. 国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003; 2. 江苏省电力公司, 江苏 南京 210024)

**摘 要:**安全校核是推进调度计划精细化管理的重要手段。在分析安全校核需求和功能总体设计基础上, 依照数据流转中心、流程控制中心和数据展示中心的3条主线设计, 提出基于预测-校正技术的功率平衡方法和计划拓扑分析管理方法, 形成日计划潮流, 在校核出现越限后采用基于安全约束经济调度(SCED)算法的多时段安全校正调整。实际电网运行结果表明系统计算速度和精度满足安全校核工作要求。

**关键词:**安全校核; 安全校正; 安全约束经济调度

**中图分类号:** TM734

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2013)01-0009-04

电网调度最基本的要求是安全运行, 随着大区电网互联和特高压电网建设的快速发展, 电网调度运行的技术水平和复杂程度越来越高。在节能发电调度模式下, 进一步要求挖掘电网输电能力, 输电设备接近极限运行, 电网安全运行的难度日益增大。调度计划编制部门迫切需要安全校核分析功能, 在发电计划的编制过程中充分考虑各类发电约束和输电约束, 使发电计划编制既符合电网安全要求, 又能充分挖掘电网的经济潜力, 提高短期发电调度计划的可操作性, 为精细化的电力电量平衡、检修计划的编制等工作提供强有力的技术支持, 实现调度计划流程的精细化管理。安全校核系统最初用于电力市场模式下发电计划的安全分析<sup>[1,2]</sup>, 是发电计划制定流程中的关键环节, 其关键是将未来时段的各类计划数据整合<sup>[3,4]</sup>, 形成可供潮流分析使用的方式数据, 并在出现潮流越限时, 通过安全校正计算消除越限, 国内外研究人员为此开展了大量的研究工作<sup>[5-8]</sup>。从工程实用角度出发, 在讨论日发电计划安全校核整体结构的基础上, 针对方式数据生成过程中涉及的功率平衡、拓扑管理等问题展开讨论, 提出了一种基于安全约束经济调度(SCED)算法的多时段安全校正算法, 形成综合最优的调整方案。

## 1 系统结构

日发电计划安全校核应用采用服务方式实现, 可灵活构建于基于面向服务的体系结构(SOA)支撑平台上, 以数据流转中心、流程控制中心和数据展示中心的三大中心建设为核心。数据流转中心完成与调度自动化系统安全I区的EMS、安全II区发电计划、III区的调度管理(OMS)等相关应用以及上下级调度间进行数据交换和共享; 流程控制中心实现对安全校核计算过程的灵活干预控制; 数据展示中心提供的丰富

手段, 快速准确地获取安全校核分析结果信息。系统整体架构如图1所示。

### 1.1 数据流转模块

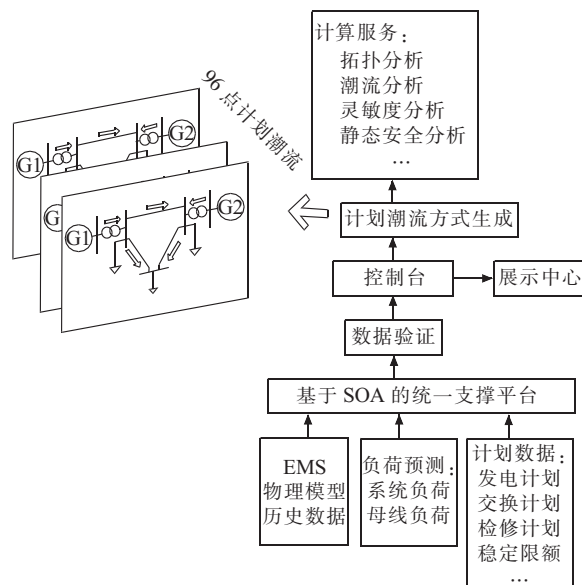


图1 系统整体架构

安全校核是对电网在未来时段的运行方式的研究, 需要获知电网未来运行方式的全部数据, 同时计算的结果数据还需要返回到相关应用和单位。安全校核应用首先应构建成一个数据流转中心, 保证各类数据流转正常。数据流转模块中心需要处理电网物理参数、电网运行计划数据、未来需求预测数据以及历史运行数据, 整体数据流向如图2所示。

### 1.2 流程控制模块

安全校核计算内容多, 包含基态潮流、灵敏度分析、静态安全分析等多项内容, 需要具有从数据获取、各类计算引擎的调用过程到上传上报整个过程完整的流程控制功能。

### 1.3 数据展示模块

安全校核牵涉的数据类别和数量巨大, 包括流转数据和完整计算结果, 需要完整丰富的展示手段用于

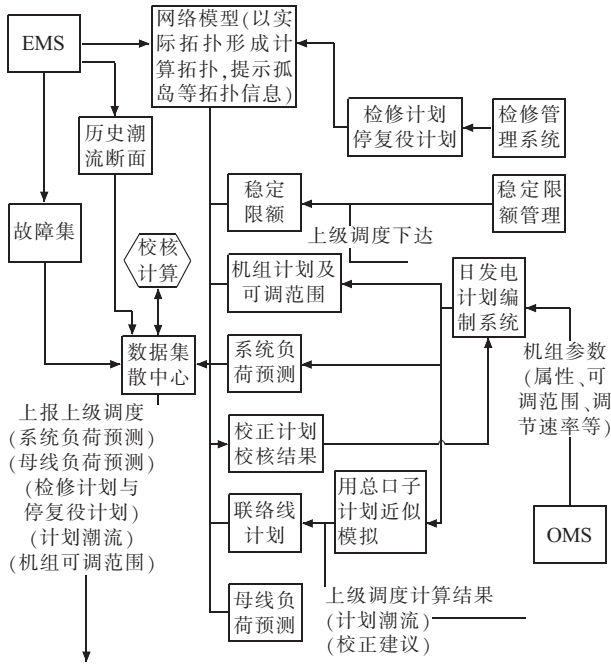


图 2 数据流转模块

查询,数据展示模块需要的展示内容如图 3 所示。

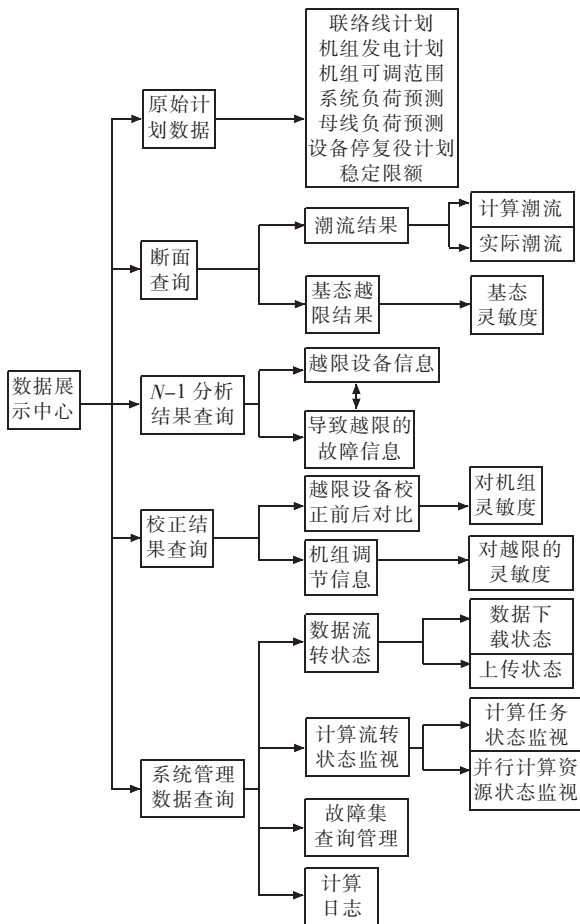


图 3 数据展示

## 2 计划潮流生成技术

### 2.1 功率平衡

电网计划潮流首先保证发受用功率平衡,电网总

功率平衡可以表示为:

$$\sum G_i = \sum T_i + \sum L_i + P_{\text{loss}} \quad (1)$$

式中: $G_i$ 为各机组发电出力; $T_i$ 为联络线交换计划; $L_i$ 为母线负荷预测; $P_{\text{loss}}$ 为网损。

发电计划、联络线计划和母线负荷预测分别从发电计划和预测应用获得,在忽略网损情况下,由于满足等量关系,三者之间是冗余信息。针对发电计划安全校核处理的原则以发电计划为主,调整母线负荷满足平衡关系。但是网损需要在潮流计算完成后才能确定,调整母线负荷注入功率的关键是获得网损大小。在线潮流计算中,网损往往采用固定网损系数方式处理,当运行方式局部调整情况下,网损的变化也较小,可以满足一般精度计算要求。但对于全天 96 点计划潮流而言,其网损的变化量在数值上也相当大,如不能合理设置母线负荷数据,在潮流计算后,网损处理上的偏差最终将由平衡机组吸收,导致这些机组出力与计划产生明显偏差。

文中采用预测-校正技术进行处理,具体步骤如下所示:(1)根据参考断面的电网潮流,进行常规潮流分析计算,确定初始网损率系数。(2)加载各类发电机出力计划和电网外部受电计划,以及母线负荷预测数据,并按照检修计划调整电网拓扑,初步形成电网未来运行方式。(3)网损预测阶段。根据网损率系数预测网损大小,电网发受用电的功率平衡关系,确定母线负荷总加变化量,并分解到各母线负荷上。(4)网损校正阶段。采用多平衡机计算方式进行常规潮流分析计算,平衡发电机相对于发电计划的偏差量作为网损估算偏差,若网损估算的偏差在设置的阈值之内,则进入步骤(5),否则重新计算网损和网损率,进入步骤(3)。(5)网损估算结束,形成未来运行方式分析的潮流断面,计算结束。

采用预测-校正的计算方式,通过多次修正网损处理上的偏差,最终将其限制在预期的范围之内。

### 2.2 多方式拓扑管理

在计划编制过程中需要不断与安全校核进行迭代计算,对计划形成的潮流进行详细分析。设备的投退状态直接影响电网运行的网络拓扑,对潮流产生巨大影响。获得正确的设备状态是校核计算的基础,不仅需要引入检修计划来及时调整设备状态,更重要的是获得正常状态,即无检修计划条件下的设备状态。可以将设备正常状态作为底版,由检修计划提供变化量信息。

拓扑管理可使用多种方式:(1)正常位方案管理。直接维护设备的正常状态。(2)检修反演机制。获取参考断面拓扑,并分析该参考断面对应时段的检修计划,反推设备在无检修条件下的正常状态。(3)特殊方式

维护。作为正常位方案的补充信息,临时定义特殊运行方式,如站内设备改造等。

检修反演方式需要维护的信息较少,在系统建设初期可结合状态估计和检修计划进行处理,但受到检修计划实际完成情况影响。正常位方案管理需要维护信息较多,但处理偏差较小,特殊方式维护是对上述处理特殊情况的补充信息,多种方式可互为补充,便于在实际使用中灵活应用。

### 2.3 并行计算

对典型的日发电计划安全校核应用而言,96点发电计划对应的96个时段断面之间的校核计算的耦合度较低,计算量大,采用并行化处理,可以将计算任务分配到多个硬件资源上完成。

## 3 安全校正

当出现设备或稳定断面越限时,需要启动校正计算。校正计算是在机组开停方式确定的情况下,根据系统负荷预测,以与初始计划(或目标计划)的偏差量最小为目标优化机组发电计划,满足系统负荷需求和机组的运行约束,并且满足电网运行的潮流约束。

目标函数为:

$$\min F = \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^I [C_i (k_i \cdot |p(i,t) - p_0(i,t)|)] \quad (2)$$

式中: $T$ 为系统调度期间的时段数; $I$ 为系统机组数; $p(i,t)$ 为机组 $i$ 在 $t$ 时段的有功功率; $p_0(i,t)$ 为机组 $i$ 在 $t$ 时段的初始(或目标)有功功率; $C_i$ 为机组 $i$ 的偏差惩罚系数; $k_i$ 为机组 $i$ 出力偏差的模拟成本,是分段线性的凸曲线,对机组不同的有功偏差量加入相应的成本,随着偏差量的增加,成本增大,达到发电计划与初始计划偏差最小的要求。

可以看出,该校正计算模型不再是对每个越限时段孤立点的调整,而是对全部时段统一建模,获得全局的最小调整量。系统主要考虑的约束如下。

(1) 机组运行约束。发电机组的输出功率上下限约束:

$$p_{\underline{i}} u_i(t) \leq p_i(t) \leq \overline{p_i} u_i(t) \quad (3)$$

式中: $\overline{p_i}$ ,  $p_{\underline{i}}$ 分别为发电机组 $i$ 输出功率的上下限。

(2) 机组加减负荷速率约束:

$$-\Delta_i \leq p_i(t) - p_i(t-1) \leq \Delta_i \quad (4)$$

式中: $\Delta_i$ 为机组 $i$ 每时段可加减负荷的最大值。

(3) 电网安全约束。电网支路潮流约束:

$$p_{\underline{ij}} \leq p_{ij}(t) \leq \overline{p_{ij}}(t) \quad (5)$$

式中: $p_{ij}$ ,  $\overline{p_{ij}}$ ,  $\underline{p_{ij}}$ 分别为支路 $i,j$ 的潮流功率以及正反向限值。

稳定断面潮流约束:

$$P_{\underline{ij}} \leq P_{ij}(t) \leq \overline{P_{ij}}(t) \quad (6)$$

式中: $P_{ij}$ ,  $\overline{P_{ij}}$ 分别为联络线断面 $i,j$ 潮流功率及上限。

## 4 应用效果

文中安全校核系统已成功应用于某省网智能调度技术支持系统。统计了该系统在2012年5月运行期间的计算结果,未出现不收敛的情况,说明日前计划潮流采用该方法后能保证计算收敛性,采用固定网损系数和采用文中预测校正方法后计划潮流中机组出力最大偏差情况对比如表1所示。

表1 计划潮流机组出力调整情况对比

日期	最大机组出力偏差/MW		调整机组个数	
	固定网损系数	文中方法	固定网损系数	文中方法
5月9日	104.8	2.5	1	1
5月10日	30.6	1.8	4	1

可以发现文中方法最大机组出力偏差和调节机组个数均小于固定网损系数方法,其中5月10日固定网损系数方法由于采用了多平衡机方式进行潮流计算,不平衡量进行了分摊导致最大出力偏差降低。

日发电计划15min间隔96时段计划潮流的生成和计算分析采用多机多核技术后,计算时间由8min左右缩减为不到1min完成,采用不同计算资源计算时间统计结果如图4所示。可见,随着计算资源数增加,计算时间降低,但超过12个并行计算资源后计算时间下降速度变缓,甚至出现增加,因为此时主要计算时间消耗在数据交换上。

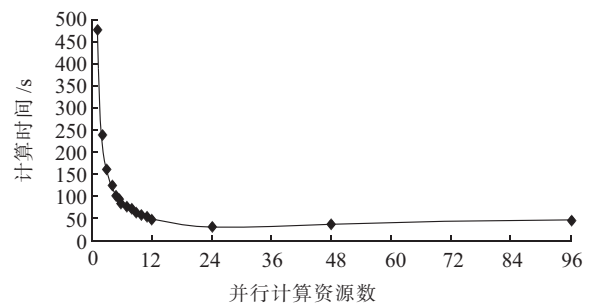


图4 并行计算时间

## 5 结束语

随着调度精细化管理需求日益提高,安全校核已成为调度大计划流程中重要一环,是保证电网安全稳定的一道重要防线。文中在分析安全校核需求和功能总体设计基础上,依照数据流转中心,流程控制中心和数据展示中心的3条主线设计,提出基于预测-校正技术的功率平衡方法和计划拓扑分析管理方法,形成



日前计划潮流,校核出现越限后采用基于安全约束经济调度(SCED)算法的多时段安全校正算法技术。实际电网运行表明所提算法的有效性。

#### 参考文献:

- [1] 武亚光,邓佑满,张锐,等.发电侧电力市场中安全校核算法的研究与实现[J].中国电机工程学报,2001,21(6):49-53.
- [2] 葛朝强,汪德星,葛敏辉,等.华东网调日计划安全校核系统及其扩展[J].电力系统自动化,2008,32(10):49-52.
- [3] 丁 恰,李 鹏,杨胜春.EMS 系统日计划安全校核的功能设计[J].电力系统自动化,2007,31(S).
- [4] 王 毅,侯俊贤,马世英,等.用于调度计划安全稳定校核的潮流数据自动整合调整方法[J].电网技术,2010,34(4):105-109.
- [5] 徐 田,於益军,钱玉妹.能量管理系统中发电计划安全校核功能的设计[J].电力系统自动化,2006,30(10):92-96.
- [6] 陈金富,陈海焱,段献忠,等.广西电网运行方式在线自动校核系统设计与应用[J].电力系统自动化,2004,28(14):86-88,92.
- [7] 胡世骏,陈中元,刘充许,等.华东区域电力市场省(市)发电竞价结果安全校核及优化调整系统[J].现代电力,2006,23(6):93-97.
- [8] 李 旻,凌 亮,张 蓓,等.日发电计划的安全校核与校正[J].现代电力,2008,25(2):87-92.

#### 作者简介:

- 丁 恰(1974),男,江苏徐州人,高级工程师,从事电力系统运行优化研究与系统开发工作;
- 王 岗(1978),男,浙江绍兴人,高级工程师,从事电力系统调度运行工作;
- 唐 然(1990),男,江苏南京人,本科,从事电力系统调度计划与安全校核的研究与开发工作;
- 杨乐勇(1985),男,江苏南通人,工程师,从事电力系统运行分析与系统开发工作;
- 张丙金(1987),男,重庆人,助理工程师,从事电力系统运行分析与系统开发工作。

## Security Checking System (SCS) for Daily Generation Scheduling

DING Qia<sup>1</sup>, WANG Gang<sup>2</sup>, TANG Ran<sup>1</sup>, ZHANG Bing-jin<sup>1</sup>

(1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;

2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** Security is an important approach to promote delicacy management of daily dispatch scheduling. Based on analysis of the needs of security checking and design of overall function, in accordance with three master line design which includes data flow center, process control center and data display center, power balance method and plan topology analysis management method based on predictor-corrector thchenology is proposed to form daily schedule power flow, and implement security correction adjustment based on the security constrained economic dispatch (SCED) algorithm after out-of-limit. The calculation speed and accuracy of system for security checking is proved by practical example.

**Key words:** security checking; security correction; security constrained economic dispatch

(上接第 8 页)

## Control strategy research of VSC-HVDC based on modular multilevel converter

HU Zhao-qing, DONG Yun-long, TIAN Jie, LI Hai-ying, CAO Dong-ming

(Nanjing NARI-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** Application of modular multilevel converter (MMC) in VSC-HVDC is introduced, and varies of multilevel schemes are compared. This paper induces the HVDC control scheme for modular multilevel converter, and a suitable control strategy for MMC in HVDC system is proposed, which is verified by using dynamic model with test results. The results manifest that the control strategy is helpful for the stable operation and satisfy the basic control function requirements of HVDC.

**Key words:** voltage source converter; control; modular multilevel converter; dynamic model

## 下 期 要 目

- 变电站户外电气设备防火距离研究
- 换流变压器直流偏磁与饱和保护
- 换流变保护改造分析及试验技术研究
- 一种大规模智能电能表全自动检定系统设计
- 继电保护装置自动化测试系统的设计与实现
- 全光纤电流互感器现场运行误差特性研究
- 江苏省燃煤电厂脱硫石膏排放利用状况及综合利用对策
- 基于随机规划理论的含异步风机的配电网故障重构
- 继电保护装置运行失效性分析与状态检修策略