

Development and Application of Day-Ahead Generation Scheduling System in Ningxia Provincial Power Grid

Peng Shao¹, Hailing Zhang¹, Honghui Kuang^{2*}, Shaoqing Guo²

¹Ningxia Provincial Power Dispatch and Control Center, Yinchuan

²Beijing QTCT Limited Company, Beijing

Email: *kuanghonghui@263.net

Received: Apr. 27th, 2013; revised: May 24th, 2013; accepted: May 31st, 2013

Copyright © 2013 Peng Shao et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: This paper introduced the development and application of day-ahead generation scheduling (DAGS) system in Ningxia Provincial Power Grid. The system is designed considering the actual work process of generation scheduling in Ningxia Provincial Power Grid, towards the target of efficiency, flexibility and optimality. In the DAGS system, the input-output data would be automatically examined, operation parameters could be set flexibly, a self-adaptive grid model is embedded, and the process of algorithm could be incepted by the operators. The grid model for the planned day would be built based on the EMS module considering the impacts of equipment maintenance, with 96 periods and 15 minutes as interval. The generation scheduling problem would be then transferred into a standard security constrained economic dispatch (SCED) problem, considering static and N-1 security correction embedded. This paper would introduce the function framework and work process of the DAGS system. And the function module of constraint setting, algorithm configuration and security correction would be described in detail. Finally, application effects of the DAGS system in Ningxia Provincial Power Grid would be introduced.

Keywords: Day-Ahead Generation Scheduling; Security Constrained Economic Dispatch; Security Correction; Optimization Algorithm; System Development

宁夏电网日前调度计划编制系统的开发与应用

邵 鹏¹, 张慧玲¹, 匡洪辉^{2*}, 郭少青²

¹宁夏电力调度控制中心, 银川

²北京清大科越科技有限公司, 北京

Email: *kuanghonghui@263.net

收稿日期: 2013年4月27日; 修回日期: 2013年5月24日; 录用日期: 2013年5月31日

摘 要: 本文所开发的宁夏电网日前调度计划编制系统, 对于提高调度计划管理的精益化水平与智能化水平具有重要意义。该系统结合宁夏电网日前调度计划编制工作的业务流程, 实现了智能的数据检测、边界参数的灵活配置、电网模型自适应、以及算法流程可感知等重要功能目标, 全面提高了电网调度运行计划编制的最优性、灵活性和高效性。该系统基于宁夏电网 EMS 的实际电网模型, 考虑发输变电设备检修计划的影响, 可以自动匹配生成未来态的 96 点电网模型, 能够在日前调度计划决策的同时, 对系统的机组开停方案和检修计划进行安全校核, 并考虑基态、断面、N-1、故障集等校核要求, 实现内嵌式闭环化的安全校核计算。本文将介绍宁夏电网日前调度计划编制系统的功能框架与计划编制流程进行分析与梳理; 在此基础上, 重点介绍该系统在约束配置、算法支撑、安全校核等方面的功能特点, 并介绍该系统在宁夏电网的应用效果。

关键词: 日前调度计划; 安全约束经济调度; 安全校核; 优化算法; 系统开发

*通讯作者。

1. 引言

随着电网规模的快速发展与 750 KV 网架的建设,宁夏电网已经开始迈入现代化大电网的阶段,传统的通过手动编制发电计划的工作方式,以及只以满足安全性为目标的“三公”调度方式已经很难适应现代化大电网“安全、经济、优质、智能化”运行的要求。亟待设计并开发更加高效的日前调度计划决策软件系统。

日前调度计划的相关技术支持系统^[1-4]广泛应用于我国的各个区域电网与省级电网公司。这些系统可以对实际的业务流程进行良好的支撑,然而对于调度计划优化决策的支撑却往往不够,主要表现在难以自适应地生成反映实际电网拓扑的电网模型,难以对复杂的决策问题进行鲁棒的优化求解,或者难以解释优化结果的合理性等。为此,本文结合宁夏电网日前调度计划编制工作的业务流程,开发了宁夏电网日前调度计划编制系统(Day-Ahead Generation Scheduling DAGS),该系统实现了智能的数据检测、边界参数的灵活配置、电网模型自适应、以及算法流程可感知等重要功能目标,可以全面提高电网调度运行计划编制的最优性、灵活性和高效性。

与此同时, DAGS 系统基于宁夏电网 EMS 的实际电网模型,考虑发输变电设备检修计划的影响,可以自动匹配生成未来态的 96 点电网模型,能够在日前调度计划决策的同时,对系统的机组开停方案和检修计划进行安全校核,并考虑基态、断面、N-1、故障集等校核要求,实现内嵌式闭环化的安全校核计算。其核心算法采用了安全约束经济调度优化算法(security constrained economic dispatch, SCED)^[5-9],能够综合考虑不同机组的燃料类型、能耗、启停费用等各项特性参数;考虑电网拓扑、潮流极限、网络损耗等网络约束;以及考虑污染物排放等节能环保运行要求。

本文的组织方式如下:第一章、第二章、第三章将分别对宁夏电网日前调度计划编制系统的功能框架与计划编制流程进行分析与梳理;第四章、第五章与第六章将重点介绍 DAGS 系统在约束配置、算法支撑、安全校核三个方面的功能特点,第六章介绍该系统在宁夏电网的应用效果,第七章则是结论。

2. 系统功能介绍

本文所开发的宁夏电网日前调度计划编制系统,主要包括以下功能模块:

基础支撑模块:实现系统管理、基础信息管理、数据采集等功能;

数据准备模块:实现数据准备功能,以及数据准备完成后的数据浏览和数据维护功能;

计划编制模块:实现计划编制、结果分析等功能;

审核发布模块:实现计划提交、计划发布、结果打印等功能;

后评估模块:实现信息统计、后评估、执行情况监视等功能。

系统的功能模块架构图如图 1 所示。

3. 计划编制流程

DAGS 系统的日前调度计划编制流程描述如下,流程图描述见图 2 所示。

- 1) 连接负荷预测系统的数据接口,读取系统负荷预测、母线负荷预测和新能源预测等数据;
- 2) 导入 EMS 系统中最新的电网模型,包括实际的拓扑关系与网络参数;
- 3) 导入审批后的机网设备检修计划,修改此前形成的电网模型;
- 4) 根据最新的电网模型和计划检修信息,生成计划日 96 点的未来态电网模型,形成相应的数学模型;
- 5) 分析系统的全网旋备、分区事故备用、AGC 调整能力等备用预留的充裕度,当不满足备用预留需

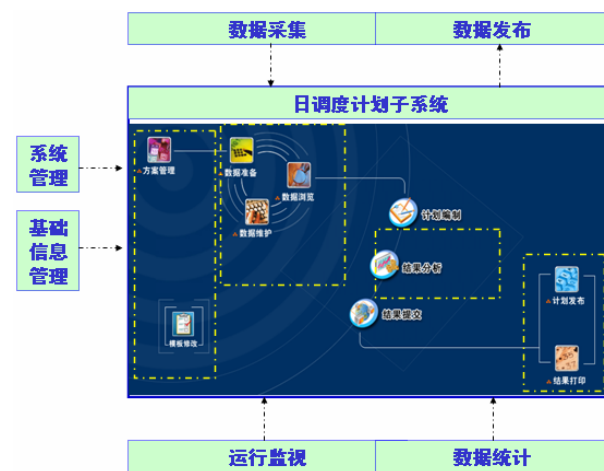


Figure 1. Function module framework for the DAGS system
图 1. 系统功能模块架构图

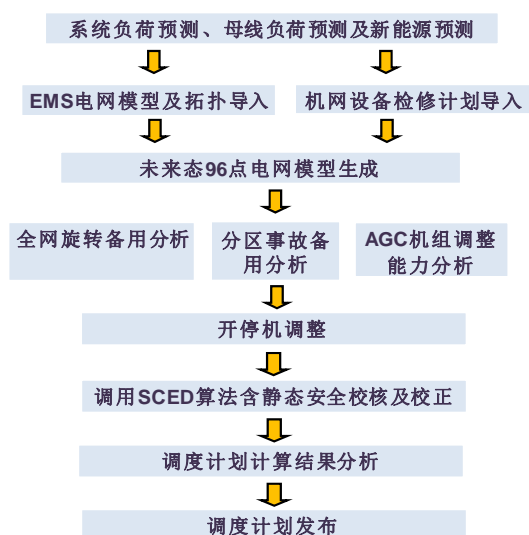


Figure 2. Implementation process for day-ahead power system scheduling

图 2. 日前调度计划的编制流程

要的条件时，给出预警信息，并调整机组的开停组合，甚至改变已有的检修计划；

6) 在备用条件得到满足的前提下，调用 SCED 优化算法，生成不同发电机组在计划日的 96 点发电曲线；在优化计算中可以同时考虑静态安全约束与 N-1 安全校核，也可以分步实施；

7) 发布所制订的日前发电调度计划。

4. 边界条件的个性化设置

在日前调度计划的编制过程中，系统将各类影响计划编制的边界条件进行了模块化的封装，以方便计划编制人员对各类边界条件的调整与设置，主要功能介绍如下：

1) **母线负荷参数**：可以查询并调整系统各个母线的负荷数据，对其中的坏数据进行修正与剔除，并修正相关的系统边界参数；母线负荷数据是考虑编制日前调度计划最为关键的边界参数；

2) **机组运行参数**：可以查询并设置机组的一些主要运行参数，包括机组容量、出力上下限、机组爬坡能力和降出力能力、机组振动区、机组电量约束条件、机组检修计划、煤耗参数等；

3) **电厂运行参数**：可以查询并设置电厂的各种运行参数，包括容量约束参数、电厂的电量约束参数、电厂检修计划等；

4) **区域参数设置**：可以定义系统中的局部区域网

络，并对网络中局部的机组群添加一些边界约束，如：机组群的用煤量限制、区域最小开机容量限制、区域环保容量限制等；

5) **电网拓扑参数**：可以查询并设置电网在发电计划决策周期内的拓扑信息与线路实际参数、发输变电设备的检修数据等，并设置线路、断面、变压器的运行参数等；

6) **机组出力平滑设置**：在调度计划编制中，往往要求机组的计划出力曲线要尽量平滑，以减小机组的物理磨损，本系统支持计划编制人员自定义添加对于机组出力平滑性的约束条件，以规避段时间内的出力阶跃、跳动等情况；

7) **AGC 调频预留设置**：可以统计计算当前机组组合与 AGC 开机状态下，系统的 AGC 调频预留能力，当发现调频能力不足时，可以改变 AGC 机组的运行状态，并将其作为计划编制的新的边界条件；

8) **其它实用化设置**：可以实现机组出力值归零、风电的区间预测、水电电量、供热机组保证供热参与平衡功能等相关功能。

图 3 展示了母线负荷参数设置页面的界面设计。

5. SCED 优化计算

基于直流潮流构建日内调度计划编制的 SCED 模型，并采用线性规划算法进行求解。算法的实施流程如图 4。

对于算法流程中的各个环节，本着流程化、智能化管理的理念，系统设计了相应的功能模块予以支撑，以提供在优化计算过程中所需的个性化设置，并保证算法的鲁棒性。

对于各个功能模块的描述如下：

1) 数据与模型的合理性检验：

在对 SCED 模型进行求解时，一个非常关键的问题在于如何建立有效的数据检错机制和保证机制，以确保模型中数据的正确性和合理性，提高模型计算的稳定性和可控性。

数据合理性校验功能模块主要实现了以下功能：

✓ **坏数据检测修正**：主要检验并修正由于数据采集、传输过程中造成的坏数据，并且通过重新采集或者状态估计的方法予以校正。

✓ **数据合理性检测**：主要包括机组数据的校验以及网络数据的校验，重点监测包括机组不合理约束

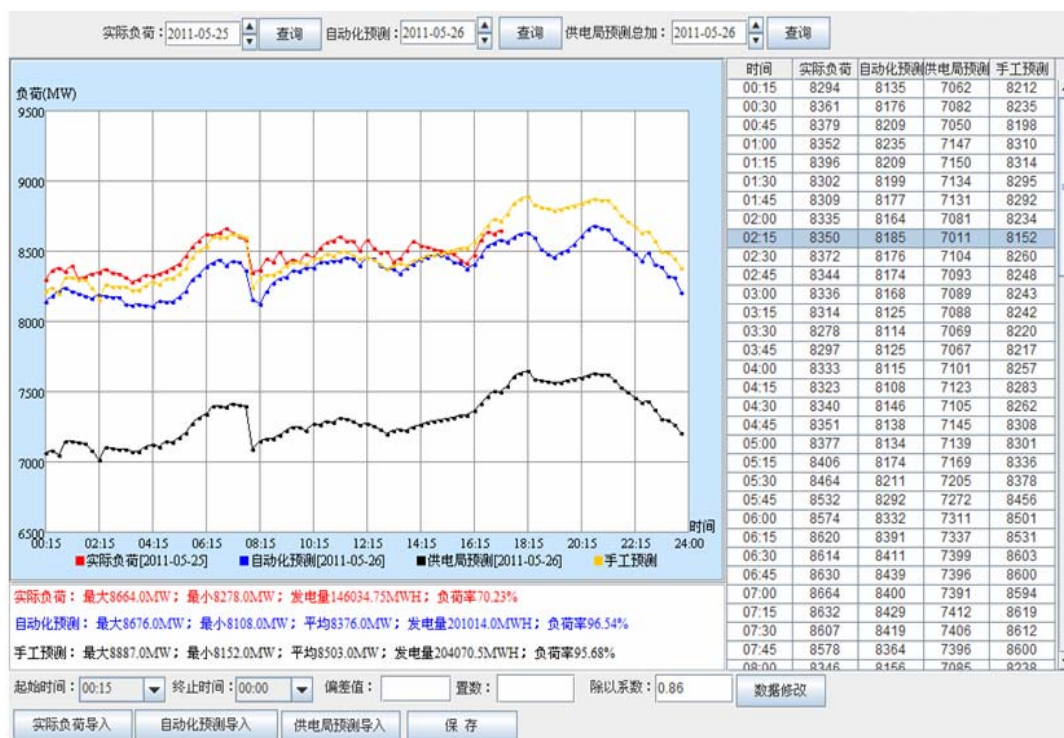


Figure 3. Page design for bus load parameter setting
图 3. 母线负荷参数设置页面设计

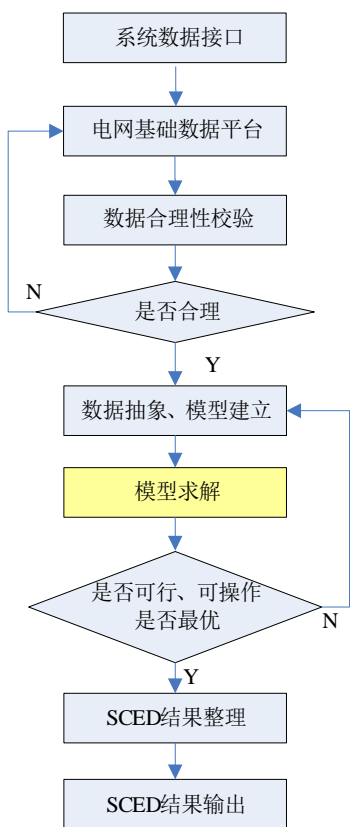


Figure 4. Flow chart for SCED algorithm process
图 4. SCED 优化计算流程图

以及网络链接孤岛等问题。

- ✓ **模型合理性检验:** 在构造 SCED 模型时需要考虑 SCED 模型约束条件的相容性和合理性问题, 防止由于模型约束条件之间存在矛盾造成的 SCED 模型不可解。
- ✓ **机组组合合理性检验:** 主要检验机组组合方案的合理性, 防止由于组合方案不合理造成 SCED 模型无解的情况。

2) 模型的抽象与简化:

根据模型的输入参数, 首先构建基本的 SCED 模型。在此基础上, 结合稀疏技术和松弛技术对模型进行简化, 以提高模型的计算效率和模型的鲁棒性。主要实现了以下两方面的功能目标:

- ✓ 辨识有效的约束条件、简化相关的约束条件, 并利用稀疏存储和检索方法, 减低模型的复杂度;
- ✓ 采用松弛变量技术对模型进行转化, 在不增加模型计算量的前提下, 通过引入必要的松弛变量, 可迅速判断求解结果的可行性, 并迅速定位模型可能出现的错误信息。
- ✓ 有选择性地添加断面和支路约束, 迭代调用 SCED 模型, 辨识此过程中的起作用约束, 并逐

步将起作用约束加入到 SCED 模型中，知道求解结果收敛。

3) 优化结果的合理性检验

为了确保模型计算结果的最优性，并提高计划编制人员对于计划物理意义的理解与优化程度的把握，本系统设计了一个完善的优化结果校验机制，可以迅速定位模型在数据、建模、求解、校核等环节可能出现的缺陷，并提供一个便利的反馈修改环节。

主要实现的功能目标如下：

- ✓ **优化结果可行性检验：**当模型没有可行解时，系统将给出一个最佳的不可行解，并给出相关的提示信息，提示信息将对计算结果与模型约束条件进行比对，快速定位模型不可行的原因和存在的问题，并反馈修改原模型。
- ✓ **优化结果可操作性检验：**由于 SCED 模型中存在部分非解析约束，只能通过简化建模的方式将约束加入优化模型中。因此，模型的求解结果并不能完全符合这些实际运行约束的要求。此时，需要通过其他的约束检测策略或者人工的方式定位 SCED 模型存在的问题，并且修改 SCED 模型。

6. 安全校核

6.1. 检修计划对于校核模型的更新

结合检修计划进行日前发电计划的一体化安全校核，是提高电网调度计划编制工作精益化程度的重要途径。在本系统中，我们以电网模型(来自 EMS)为源数据，对各类检修信息进行规范整合，并修正模型。

主要考虑了以下的功能目标：

- 1) 考虑机组检修计划对机组开停机方式的影响，直接将机组的检修计划导入到机组的指定状态中，确定该类机组为停机方式。
- 2) 考虑线路、主变、母线检修方式对电网拓扑的影响，修正调度计划决策与安全校核的计算模型。
- 3) 考虑不同设备检修下，关键拓扑断面运行方式约束极限的变化。
- 4) 对母线检修造成的单母线运行薄弱点进行校核。

6.2. 内嵌式的安全校核闭环校正

本系统的 SCED 求解模型，采用了先进的安全校

核算法，同时实现基态、N-1、故障集状态下内嵌式的安全校核闭环校正，以提高发电计划的精准性及检修计划的可行性。闭环校正的计算流程如图 5 所示。

7. 应用效果

所开发的日前调度计划编制系统在宁夏电网得到了良好应用。该系统应用以来，运行稳定，在调度计划编制的公平性、合理性、安全性及新能源的吸纳等方面提供了强有力的技术支撑。

系统主要的应用效果如下：

- 1) 日前调度计划编制系统的应用，提高了发电侧的平均运行负荷率，尤其显著地提高了大容量、高效益机组的负荷率水平，从而改善了机组的工况运行点，提高了机组的运行效率。
- 2) 日前调度计划编制系统超前考虑风电的波动区间，基于风电期望出力的大概率事件制定发电计划，预留适应未来风电波动极端运行场景等小概率事件的优化调度空间，全面提升了电网对风电波动的包容性，提高了新能源发电的吸纳能力。
- 3) 日前调度计划编制系统超前考虑了 AGC 机组的状态，预留 AGC 机组的调整空间，从而降低了系统 AGC 调频压力。
- 4) 日前调度计划编制系统采用的 N-1 内嵌式自校正优化调度技术、降低了线路和断面发生重载的频率、备用的空间分布更加合理。
- 5) 日前调度计划编制系统能够适应多种调度模

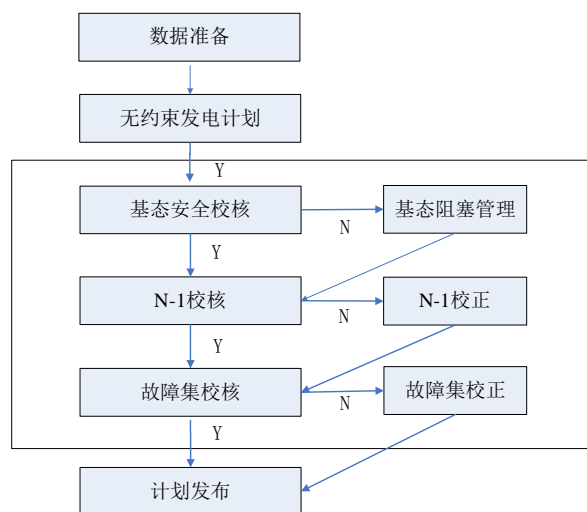


Figure 5. Flow chart for embedded closed-loop security correction
图 5. 内嵌式安全校核闭环校正流程图

式, 编制各机组发电计划时, 充分考虑了各机组计划电量的完成率, 兼顾了发电计划的效率与公平

8. 结论

本文所开发的宁夏电网日前调度计划编制系统是电网智能调度的一个重要创新, 该系统实现了智能的数据检测、边界参数的灵活配置、电网模型自适应、以及算法流程可感知等重要功能目标, 实现了内嵌式闭环化的安全校核计算。在宁夏电网应用的实际效果表明, 该系统可以提升电网日前调度计划管理工作的精益化水平与智能化水平。希望本文的工作可以为我国调度计划管理、决策与信息化建设等相关领域的研究提供有益的借鉴。

参考文献 (References)

- [1] 那志强, 高国宁, 顾新建. 浙江电网调度计划和检修管理系统[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 73-76.
- [2] 朱晟, 葛敏辉, 毕晓亮. 安全约束调度系统在华东电网的应用[J]. 电网技术, 2008, 32(26): 154-156.
- [3] 陈之栩, 李丹, 张晶. 华北电网安全节能发电优化调度系统功能设计[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 43-47.
- [4] 葛朝强, 汪德星, 葛敏辉. 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, 23(10): 45-48.
- [5] 汪洋, 夏清, 朱明祥, 杨明辉. 最优校正型安全机组组合模型及其求解算法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(9): 19-24.
- [6] 张宁, 陈慧坤, 骆晓明等. 广东电网节能发电调度计划模型与算法[J]. 电网技术, 2008, 32(24): 11-15, 38.
- [7] 李利利, 耿建, 姚建国等. 均衡发电量调度模式下的 SCED 模型和算法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(15): 23-27.
- [8] 张智刚, 夏清. 智能电网调度发电计划体系架构及关键技术[J]. 电网技术, 2009, 33(20): 1-8.
- [9] 丁明, 冯永青. 发输电设备联合检修安排模型及算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(5): 18-23.