

# Study on the Application of Online-Check Based on SG-OSS

Jinghua Wen<sup>1</sup>, Xiaoli Wang<sup>1</sup>, Meiling Luo<sup>1</sup>, Xuedong Li<sup>2</sup>, Maoheng Jing<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ningxia Power Grid Corporation, Yinchuan Ningxia

<sup>2</sup>Join Bright, Beijing

<sup>3</sup>Newcastle University, Newcastle, UK

Email: [snowinterli@126.com](mailto:snowinterli@126.com)

Received: Dec. 28<sup>th</sup>, 2014; accepted: Jan. 16<sup>th</sup>, 2015; published: Jan. 22<sup>nd</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The setting value of relay protection and the performance index are attained in offline mode according to the maximum operating mode and minimum operation ways, and remain unchanged in the operation of the system. However, in the actual operation of the system, its mode of operation is constantly changing. When the system is in some special operation conditions, partial protection system in the fixed value may not satisfy the sensitivity and selectivity of the existing requirements, the protection disoperation accident may occur. If you can't find and adjust it, it may cause widespread power outages; therefore, it is very necessary to do real-time check for the system setting. This paper studies online check application based on SG-OSS platform, introduces the formation analysis of basic function, online check of the design scheme, main integrated data model and introduces the calculation of the core algorithms, parallel computing.

## Keywords

Relay Protection Setting Value, Online Check, Data Model, Parallel Computing

---

# 基于SG-OSS平台在线校核应用的研究

温靖华<sup>1</sup>, 王小立<sup>1</sup>, 罗美玲<sup>1</sup>, 李雪冬<sup>2</sup>, 景茂恒<sup>3</sup>

<sup>1</sup>宁夏电力有限公司, 宁夏 银川

<sup>2</sup>中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京

<sup>3</sup>纽卡斯尔大学, 英国 纽卡斯尔  
Email: [snowinterli@126.com](mailto:snowinterli@126.com)

收稿日期: 2014年12月28日; 录用日期: 2015年1月16日; 发布日期: 2015年1月22日

## 摘要

继电保护装置的定值和各项性能指标是在离线状态下根据系统的最大运行方式和最小运行方式获得的, 在系统运行中保持不变。但是, 在系统实际运行中, 其运行方式是在不断变化的。当系统处于某些特殊的运行状态时, 系统中部分保护的定值可能不能满足灵敏度和选择性的要求, 存在保护误动作的事故隐患。如果不能及时发现并进行调整, 可能会造成大范围的停电事故; 因此, 对系统定值进行实时校验是非常必要的。本文对基于SG-OSS平台的在线校核应用进行研究, 主要有在线校核的基本功能、主要的设计方案、综合数据模型的形成分析以及对核心算法——并行计算的探索。

## 关键词

继电保护定值, 在线校核, 数据模型, 并行计算

## 1. 引言

继电保护装置是电力系统最重要的二次设备之一, 是电力系统安全运行的保障。国内外无数实例证明, 涉及停电范围较广的大型系统事故, 大都与继电保护装置的不正确动作有直接或间接的关系。因此, 合理的安排继电保护定值, 提高继电保护运行管理水平, 是保障电网安全运行的重要条件[1]-[9]。

随着电网的发展, 基建、改造项目大量投产, 临时方式越来越复杂, 电网运行面临的挑战性不断增强。继电保护作为电网的第一道防线, 对电网安全运行起到至关重要的作用[10]-[14]。文献[15]针对距离 III 段保护定值提出了在线校核系统, 通过子站召唤保护装置的定值和实时模拟量, 完成预警性校核; 文献[2]提出了考虑保护重要度的继电保护定值在线校核, 通过 IEEE39 节点系统的仿真和算法复杂度的分析, 验证了该方法的可行性和正确性; 文献[16]从电网结构性的角度提出了一种基于传输贡献度判断支路保护装置重要度的在线校核方法, 该方法采用网络最大流和复杂网络理论, 从而计算出各支路保护装置传输贡献度指标, 根据该指标的降序来进行保护装置的在线校核。以上几种方法从不同角度阐述了在线校核系统的实现方法, 但不具有普遍性。

因此, 本文从在线校核的基本功能和设计方案出发, 提出了基于 SG-OSS 平台建设继电保护定值在线校核应用的要求, 并对在线校核的核心算法进行了研究, 具有一定的通用性。继电保护定值在线校核应用, 将为大电网、跨区电网的安全稳定运行提供技术支撑及保障, 最大限度地提高电力系统供电可靠性, 保证电网的可靠运行。

## 2. 在线校核系统功能

在线校核主要功能包括: 短路电流计算、在线校核、研究态分析、可视化展现、统计分析、模块维护管理等。

(1) 短路电流计算功能: 短路电流计算是在线保护定值校核的基础, 用于模拟、研究各种故障条件下的电力系统的行为, 校核保护定值的灵敏性、选择性。

短路计算功能涵盖单相接地短路、两相接地短路、两相相间短路、三相短路、断线故障等简单故障,

以及跨线故障等相应复故障。并且对于各种短路故障，可设置过渡电阻；故障点可设置在母线、变压器绕组出口、发电机出口、串补两侧以及线路上的任意位置。

针对实时运行方式下的定值性能评估与预警，引入电网实时潮流并作为计及潮流的故障计算的基础数据，结合电网实时潮流，对保护定值的躲负荷能力进行评估和预警。针对预想方式和检修方式下的定值性能评估与预警，按照预想方式和检修条件后的电网状态重新进行潮流分析，计算预想方式和检修方式下的潮流对定值的躲负荷能力进行评估和预警。

(2) 在线校核功能：继电保护定值在线校核应用可利用电网运行数据自动对当前方式下主保护及后备保护的相关定值进行校核，同时实现对同一变电站、同一送电断面内的元件进行轮断，自动生成“N-k”（k 可以设置）故障集等比较严重的电网运行方式。

在线校核应用的启动有 4 种应用模式：人工、周期、定时、事件。

主保护定值校核，主保护定值(如启动定值、动作定值、闭锁定值等)的评估包含以下内容：

- 1) 母差保护定值的灵敏性；
- 2) 线路纵联保护定值的灵敏性；
- 3) 变压器差动保护定值的灵敏性。
- 4) 启动值：线路、变压器差动保护，断路器失灵保护。

后备保护校核主要校核以下方面：

- 1) 距离保护的灵敏性和选择性，校核接地距离保护应考虑零序补偿系数的影响；
- 2) 距离 III 段定值躲负荷能力在线校核(重要断面线路在 N-k 潮流转移后是否会造成距离 III 段保护动作)；
- 3) 失灵保护电流及复压闭锁定值的灵敏性；
- 4) 零序电流保护的灵敏性和选择性；
- 5) 变压器过流保护的灵敏性和选择性。

(3) 研究态分析模块：利用在线数据或历史数据分析保护定值的适应性情况。可对电网的各种运行参数进行修改，然后进一步分析参数变化后保护定值的适应性。

提供历史数据管理功能，自动记录历史运行方式，人工修改后的运行方式可保存。任意选取保存的历史数据进行各种校核计算分析，可以实现临时检修、陪停等方式下的定值灵敏性校核和后备保护选择性校核等计算分析工作。

具备在已有数据的基础上对电网的各种运行参数进行修改，例如修改系统的接线、发电机出力及负荷大小并重新进行分析计算，同时，提供基于检修计划等信息校核保护定值灵敏性和选择性的功能。

故障仿真分析，根据故障录波等信息，模拟故障发生的过程，计算故障点的位置以及过渡电阻的大小。该功能模块具备如下功能：

- 1) 计算故障点的位置；
- 2) 计算过渡电阻的大小；
- 3) 统计分析过渡电阻大小的分布规律。

能够模拟故障情况，分析保护(快速保护、距离保护、零序保护、失灵保护等)的动作情况，应能方便地建立继电保护装置或安全自动装置的逻辑模型，逻辑模型包含与原理定值相关的启动(闭锁)元件、测量元件、时间元件及其相互间的逻辑关系；模拟继电保护装置的典型动作逻辑，如距离保护的阻抗圆(阻抗四边形)、母线保护的复压闭锁等；考虑故障时某套保护拒(误)动等复杂情况；体现保护动作的时序性，以图形、动画等方式直观展示保护动作情况；能在线自动地生成模拟事故，校核保护动作情况，并给出预警。

定值辅助决策，根据定值在线校核结果，向智能电网调度技术支持系统辅助功能决策模块提出建议。

该功能模块包含以下功能：

- 1) 对于不满足灵敏性要求的主保护定值，提出建议；
- 2) 对于不满足灵敏性等要求的后备保护定值，提出建议；

(4) 可视化功能模块：对正常校核结果的展示，包括保护灵敏性分析结果、后备保护配合关系分析结果、距离Ⅲ段保护定值躲负荷能力校核结果。

在综合智能分析与告警模块中展示的告警信息，包括主保护不满足灵敏性的告警、后备保护不满足灵敏性的告警、距离Ⅲ段躲负荷的告警、各段保护的保护区、后备保护不满足选择性的告警、模拟故障保护动作情况告警等。

以文本文件提供详细的评估结果的算稿，其中包含评估方式详细信息、评估计算的重要中间信息和不满足要求保护详细原因等。定值在线评估完毕后，同时按照指定格式输出到调度端进行结果展示及相关的预警信息。为了与实时数据相对应，将评估结果文件加盖时间戳。

可视化的方式，通过可视化的手段实现定值预警，可在地理接线图上实现告警，并可以根据需要选择显示简化的告警信息或者详细的告警内容，可以分类也可以全景展示。

可视化的预警宜对正常状态、警戒状态、异常状态分别进行着色。

可采用列表、曲线、向量图、二维着色图、三维曲面、动画等多种形式进行可视化展示。

(5) 统计分析功能：在线校核提供完善的计算统计功能，自动保存每个 CASE 下计算的定值合格率等信息，并可以自动统计如下内容：

- 1) 记录和显示校核计算的时间；
- 2) 短路电流计算过程中出现的异常信息；
- 3) 保护定值校核过程中出现的异常信息；
- 4) 校核计算的统计信息。

(6) 模块维护和管理功能包括：

- 1) 模型和参数维护功能：对继电保护定值在线校核的各种数据库进行维护，进行修改、定义、增加、删减；
- 2) 用户权限管理功能：可利用基础平台的权限管理模块设定权限对继电保护定值在线校核进行使用、管理和维护；
- 3) 应用与进程的管理功能：包括对各种应用与任务进程的监视、切换以及运行参数的修改等；
- 4) 具备 web 发布功能，将计算结果通过 WEB 服务器发布到安全 III 区，方便用户查看当前继电保护定值在线校核的计算结果；

5) 告警功能：可以按级别以不同声音告警，并以不同颜色弹出告警信息条。告警的内容、类别、表达方式可以由用户根据需要进行灵活地设定。告警信息应包括：运行异常告警，包括软件故障；通信异常告警，指电网继电保护在线校核应用与智能电网调度技术支持系统基础平台等相关模块间的通信异常。

### 3. 在线校核主要设计方案

#### (1) 硬件部署方案

如图 1 所示，硬件部署分为在线校核计算集群，即作为并行计算的数据平台；在线校核主服务器(与平台其他应用通讯)与在线校核从服务器(与平台其它应用通讯)，即布置 SG-OSS 平台程序；在线校核应用的程序；作为在线校核应用的历史数据文件存储服务器。

#### (2) 定值在线校核方案

##### 1) 校核内容

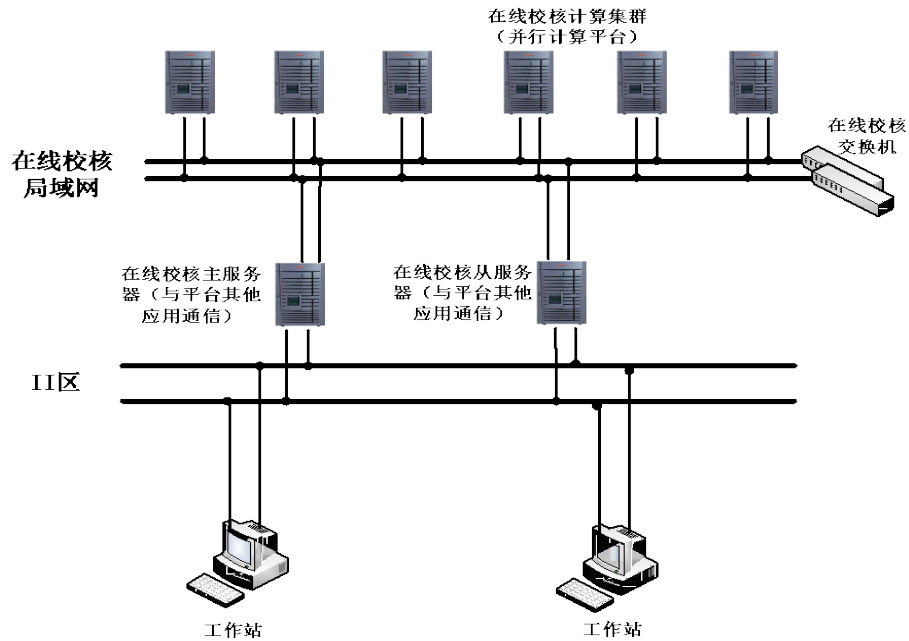


Figure 1. Hardware deployment  
图 1. 硬件部署

- a) 启动定值校核(如电流、电压等)灵敏度;
- b) 主保护定值: 线路纵联保护灵敏度、母差保护灵敏度、变压器差动保护灵敏度;
- c) 后备保护定值灵敏度;
- d) 后备保护定值选择性;
- e) 距离 III 段躲负荷能力校核。
- 2) 校核方法及模式
  - a) 距离保护定值灵敏度基于测量阻抗法, 接地距离计及补偿系数;
  - b) 距离保护定值选择性校核基于分支系数法;
  - c) 计及保护装置动作特性(圆特性、四边形特性);
  - d) 在线评估-实时方式下定值的校核评估;
  - e) 在线预警-实时方式下考虑 N-k 定值预警;
  - f) 按校核设置自动校核定值;

### 3) 校核优化算法

为了提高在线校核计算速度以及校核结果的准确性, 对原计算方式方法进行优化, 采用智能型关键技术: 分区计算、变化域、网络操作快速算法、并行计算。

### (3) 预想方式定值校核方案

#### 1) 校核主要内容

- a) 预想方式分析: 基于检修计划方式分析、基于人工预想方式分析;
- b) 定值校核内容 ;
- c) 同定值在线校核内容。

#### 2) 基于检修计划的预想方式生成方案

基于检修计划的预想方式生成方案如图 2, 综合考虑设备检修信息、设备的投退状态信息和检修时

间信息来生成未来态的运行方式。

3) 预想方式的构成

预想运行方式的构成建立在当前实时方式与未来态时刻设备投退的基础之上的，如图 3 所示。预想方式构成必须考虑当前时刻的实时运行方式和预想方式计算时刻已经完成的检修设备，不考虑预想方式时刻正在检修的设备。如设当前时刻为 2013 年 9 月 30 日 9:00，若要在 10:00 进行校核，检修票的信息如图 4 所示。

由图 4 可得，10:00 的预想方式为：9:00 实时方式 + J2013-0755(投运)-J2013-0830(检修)。

4) 预想方式的校核模式：根据检修票信息自动分段进行预想方式保护定值校核；人工触发的预想方式校核；结合检修计划，采用前一天同一时刻负荷方案，人工触发用电高峰时段的校核；人工设置设备检修，对关注方式定值性能进行提前预演。

(3) 大屏设计方案

大屏展示应具备：信息全貌化，完整业务化。

信息全貌化：直观、美观；操作按钮简单，尽量不操作；

完整业务化：全网综合信息；区域综合信息；厂站综合信息；距离 III 段、差动保护；详细结果展示、故障计算、计算书。

4. 在线校核综合数据模型分析

(1) 数据来源分析：基础数据平台是在线校核与外界联系的桥梁，通过它来获取数据和存储数据(根

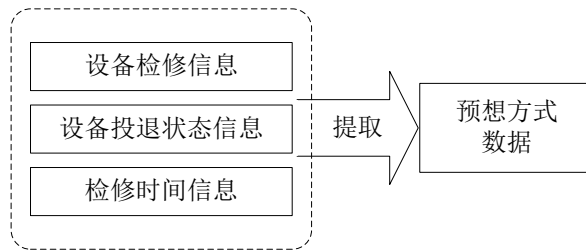


Figure 2. Scheme of envision mode  
图 2. 预想方式生成方案

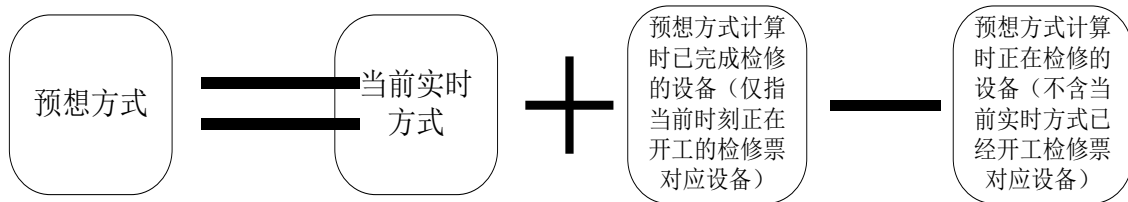


Figure 3. Constitute of envision mode  
图 3. 预想方式的构成

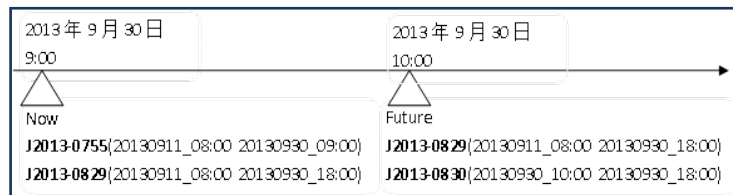


Figure 4. Constitute of envision mode  
图 4. 预想方式的构成



据调度部门实际情况可以做必要的补充), 通过它与其他系统交互, 数据来源如图 5 所示。

在线校核从基础平台获取的数据有:

- 1) 电网模型数据;
- 2) 电网图形数据;
- 3) 保护定值数据;
- 4) 电网运行数据;
- 5) 未来方式数据;
- 6) 人员权限信息;

通过基础平台向其他应用提供的数据有:

- 1) 校核告警信息;
- 2) 在线校核结果;

(2) 综合数据模型基本思想: 在线校核应用中, 综合数据模型生成时需要从 SG-OSS 读取 CIME 模型, CIME 模型包括设备 ID、参数、拓扑数据, 根据这些数据生成校核的初始模型, 为了保证后续计算的连续性(后续故障计算会涉及矩阵求逆运算), 会对 SG-OSS 的数据进行连接关系检查, 删除掉节点号为“-1”的节点。

在初始模型的基础上, 通过定值整定软件的模型与校核的初始模型进行对接, 根据定值整定范围边界, 对校核初始模型进行裁剪, 确定定值校核范围, 形成校核的中间模型。基于校核的中间模型, 将定值整定软件对接好的设备的阻抗参数刷新到校核的中间模型中, 如果存在 SG-OSS 中有设备, 而整定软件没有该设备, 则保留 SG-OSS 的数据, 然后追加整定软件的互感数据。另外, 对于 SG-OSS 对接范围外的厂站, 整定软件采用等值表示, 因此根据对接的母线, 将整定软件的等值系统、等值联络线追加到 SG-OSS 模型中。最后, 研究是否存在孤立片区, 删除掉不含源(源, 指外部系统或发电机)的孤立片区, 以此生成校核的最终计算模型。刷新对接好的设备时, 只刷新阻抗参数, 不刷新拓扑数据, 因为 SG-OSS 是全模型, 整定软件是简化接线方式, 为了实现在线校核应用, 只使用了整定软件的设备参数, 当然定值校核的时候, 还使用整定软件的定值数据。

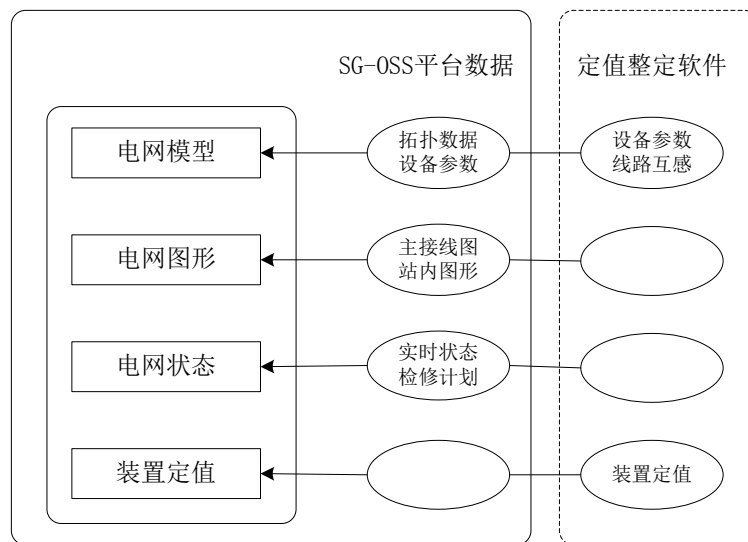


Figure 5. Sources of data

图 5. 数据来源

### (3) 综合模型数据生成

1) 生成初始模型：从基础数据平台读取 CIME 模型，CIME 模型包括设备 ID、参数、拓扑数据，对平台中的数据进行连接关系检查，删除掉节点号为-1 的节点，最后根据这些数据生成校核的初始模型。

2) 生成中间模型：在初始模型的基础上，通过定值整定软件的模型与校核的初始模型进行对接，根据定值整定范围边界，对校核初始模型进行裁剪，确定定值校核范围，形成校核中间模型。

3) 生成校核数据模型：基于校核的中间模型，将定值整定软件对接好的设备的阻抗参数刷新到校核的中间模型中，然后追加整定软件的互感数据。另外，对于 SG-OSS 对接范围外的厂站，整定软件采用等值表示，因此根据对接的母线，将整定软件的等值系统、等值联络线追加到 SG-OSS 模型中。最后，检查是否存在孤立片区，删除掉不含源(源，指外部系统或发电机)的孤立片区，以此生成校核的最终计算模型。

(4) 数据差异性分析：根据在线校核应用建设规范，在线校核的数据源应和平台是同一数据源，需要从平台获取设备模型(设备参数、拓扑)、实时方式(遥测、遥信量)；由于零序参数、互感、区外等值在平台中没有，所以采用整定软件的数据进行补充。针对前一段的分析对照，发现 SG-OSS 数据与整定软件数据存在差异，比如 SG-OSS 导出数据存在历史数据、外网厂站建模不一致问题。目前，主要遗留了负荷站在两系统中处理不一致问题。由于在线校核应用需要基于 SG-OSS 的图形、设备、物理连接拓扑、实时状态信息进行计算，为了确保在线校核应用的正确性，这一问题必须解决。

### (5) 数据差异性解决方案

1) 针对 CIME 中数据中存在节点号为“-1”的问题，这个问题应该从数据源的角度解决，需要自动化处理。

2) 针对存在 SG-OSS 中有设备，而整定软件没有该设备的问题，改变综合模型数据生成规则，将原处理规则(如果存在 SG-OSS 中有设备，而整定软件没有该设备，则保留 SG-OSS 的数据)改变为新规则(如果存在 SG-OSS 中有设备，而整定软件没有该设备，而这些设备类型又是线路、变压器、发电机，则不加载这些数据)。从而解决上述问题。新规则存在的问题：可能将在 SG-OSS 中本来连续的元件，因为这一类数据的删除，变得不连续从而影响计算结果。但是如果我们对数据源充分相信，认为主设备元件(线路、变压器、发电机)在整定系统中与平台数据是一致的，这一隐患就不必考虑。

3) 针对“终端负荷变”和“负荷站为联络变电站”的问题，SG-OSS 平台必须进行补充，包括负荷站、负荷线路，从而具备完整拓扑、完整数据，如果 SG-OSS 平台不进行补充，生成的在线校核最终模型范围必将小于定值整定范围，必将造成校核模型拓扑与实际电网不一致和定值配合支路的缺失，从而引发校核结果的错误。另外明确负荷站设备的关联元件类型(有的时候是负荷、有的时候是线路)，应确定为一个类型(建议为线路)。并解决掉节点号为“-1”的问题，否则最终为了保证整体能运算下去，会删除掉这些元件，从而无法校核这些元件的定值、配合关系。对此，提出以下意见和要求：针对“终端负荷变”且站内无接地变的情况，在平台中将这类设备处理为一个确定类型元件(建议为线路)。如果处理为负荷，实现时在线校核应用增加线路与负荷的对接；对于“终端负荷变”站内有接地变和“负荷站为联络变电站”负荷站形成联络变的问题，由于需要 SG-OSS 中的完整拓扑，所以必须在 SG-OSS 平台中添加此类数据，为了确定对负荷的统一性，建议对第一类且站内无接地变的元件，采用同一方案处理。

## 5. 核心算法——并行计算

并行计算是一种基于 Hadoop 分布式计算的在线校核计算任务的方法，其有效地解决了对大电网进行继电保护在线校核的全过程耗时过长的问题，实现了在规定时间内完成一次校核过程。

对大电网进行继电保护定值在线校核应用，必须考虑到应用的时效性。为了实现快速的定值校核，



需要采用并行计算技术。

1) 并行计算的思想

并行计算的思想源于由整体->部分->整体的核心思想，即将整体的计算任务进行合理的划分，拆分成部分具体的小计算任务，然后将部分小计算任务平均合理的分配给计算机进行参数的同时计算，或称其为云计算，最后将各个计算机计算的参数进行智能分析汇总、待用。

2) 任务拆分

该方法包含以下步骤：获取校核总任务，即参与本次校核过程的总厂站；确定能够参与计算的所有计算机资源；计算出每个子任务每次校核的最大厂站数；将所有的厂站按区域进行划分；按照每个区域内的厂站数由多到少进行任务的分配；完成校核任务，将校核结果组合进行组合。并行计算子任务划分如图 6 所示。

### 6. 实例验证

本文以宁夏电力有限公司实际电网为例，对继电保护定值在线校核应用进行了开发，验证了本文在线校核系统的设计的可行性。如图 7 所示为基于 SG-OSS 平台在线校核应用界面，实现了校核结果的展示及告警，并可以根据需要选择显示简化的告警信息或者详细的告警内容。图 8 所示为人工基于检修票校核界面，可选择所需要校核时间段的检修票或者某一张检修票进行校核。如图 9 所示为校核结果综合查询界面，针对检修方式的校核结果，对检修前后对比结果进行综合展示展示；用亮色提示前后结果差

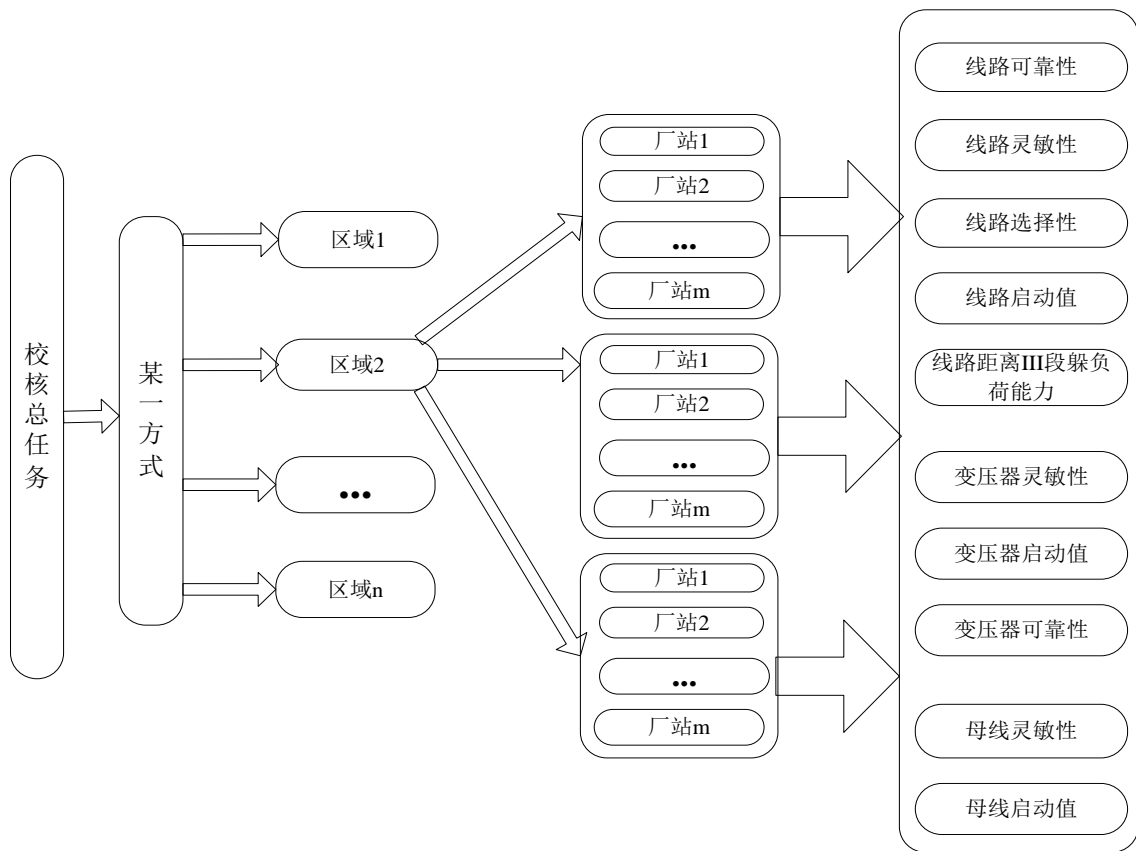


Figure 6. Sub-task division of parallel computing  
图 6. 并行计算子任务划分



Figure 7. Application interface of online-check based on SG-OSS  
图 7. 基于 SG-OSS 平台在线校核应用界面

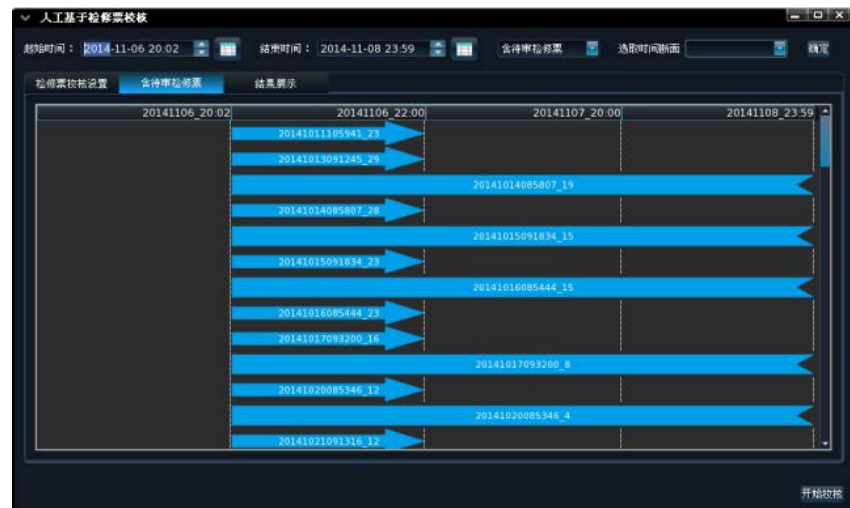


Figure 8. Artificial checking interface based on maintenance tickets  
图 8. 人工基于检修票校核界面



Figure 9. Comprehensive query interface of online-check results  
图 9. 校核结果综合查询界面

别；圆环中有告警比率组成，防止以偏概全。便于及时发现检修计划方式下保护定值的不足。

## 7. 结束语

继电保护定值在线校核应用，为大电网、跨区电网的安全稳定运行提供技术支撑及保障，最大限度地提高电力系统供电可靠性，保证电网的可靠运行，降低了人力的浪费，提高了企业经济效益。

基于 SG-OSS 的继电保护定值在线校核，具备短路电流计算功能，生成未来态组合运行方式的校核模型；具备在线校核功能，生成可视化界面展示；具备统计分析以及模块的维护和管理功能。

在线校核综合数据模型的生成，我们采集 SG-OSS 基础数据平台 SG-OSS 中的拓扑参数、主接线图站内图形以及实时状态检修计划等数据进行处理，生成初始校核模型。

在初始模型的基础上，通过定值整定软件的模型与校核的初始模型进行对接，根据定值整定范围边界，对校核初始模型进行裁剪，确定定值校核范围，形成校核中间模型。

基于校核的中间模型，将定值整定软件对接好的设备的阻抗参数刷新到校核的中间模型中，然后追加整定软件的互感数据。另外，对于 SG-OSS 对接范围外的厂站，整定软件采用等值表示，因此根据对接的母线，将整定软件的等值系统、等值联络线追加到 SG-OSS 模型中。最后，检查是否存在孤立片区，删除掉不含源(源指外部系统或发电机)的孤立片区，以此生成校核的最终计算模型，即校核数据模型。

校核数据模型考虑预想运行方式，即通过检修设备信息、设备投退状态信息和检修时间信息等来提取预想方式数据。最终形成考虑预想运行方式的校核数据模型进行继电保护定值的在线校核。

通过对 SG-OSS 的在线校核系统的开发应用，解决了在线校核应用中的关键技术问题，为下一步实现在线校核系统积累了实际运行经验，为开发在线校核系统奠定了重要技术基础。

## 参考文献 (References)

- [1] 赵希正 (2003) 强化电网安全 保障可靠供电: 美加“8.14”停电事件给我们的启示. *电网技术*, **10**, 1-7.
- [2] 邓丰强, 吕飞鹏 (2013) 考虑保护重要度的继电保护定值在线校核. *电力系统及其自动化学报*, **4**, 85-90.
- [3] 王利赛 (2012) 基于云计算的继电保护整定系统的研究. 华北电力大学, 北京.
- [4] 何大愚 (2004) 一年以后对美加“8.14”大停电事故的反思. *电网技术*, **21**, 1-5.
- [5] 焦在强 (2012) 大规模风电接入的继电保护问题综述. *电网技术*, **7**, 195-201.
- [6] 陈国炎, 张哲, 尹项根 (2012) 基于 IEC 61850 的广域继电保护通信建模. *电网技术*, **6**, 56-63.
- [7] 王利赛 (2012) 基于云计算的继电保护整定系统的研究. 华北电力大学, 北京.
- [8] 屈靖, 郭剑波 (2004) “九五”期间我国电网事故统计分析. *电网技术*, **21**, 60-62, 68.
- [9] 顾坚, 徐剑, 张国秦 (2005) 继电保护及故障信息管理系统子站的应用探讨. *电气应用*, **2**, 24-26.
- [10] Tan, J.C., Crossley, P.A., Kirschen, D., et al. (2000) An expert system for the back-up protection of a transmission network. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **15**, 508-514.
- [11] Zhang, D.H. and Bi, Y.Q. (2009) Communication network of wide area protection system using OPNET simulator. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009)*, Seoul, 5-8 July 2009, 1298-1303.
- [12] 袁宇波, 丁俊健, 陆于平, 等 (2001) 基于 Internet/Intranet 的电网继电保护及故障信息管理系统. *电力系统自动化*, **17**, 39-42.
- [13] 韩晓萍, 李佰国, 王肃, 等 (2004) 继电保护及故障信息系统的设计与实现. *电网技术*, **18**, 16-20.
- [14] 顾坚, 徐剑, 张国秦 (2005) 继电保护及故障信息管理系统子站的应用探讨. *电气应用*, **2**, 24-26.
- [15] 高振军, 任景, 霍超, 等 (2012) 电力系统继电保护定值在线安全预警系统. *电网与清洁能源*, **12**, 19-22.
- [16] 慕宗江, 徐岩, 杨雨昂, 仇向东 (2013) 基于传输贡献度的继电保护定值在线校核评估方法. *华东电力*, **9**, 1887-1889.