

[电网调度]

安全校核应用中小扰动稳定性校核的技术探讨

文/国网苏州供电公司 徐 丹

为实现电网安全与经济运行，对调度计划进行闭环安全校核具有重要意义。基于SOA架构，对电网调度支持系统中的安全校核应用的结构和功能进行介绍，分析了安全校核应用中的小扰动稳定校核的主要功能和工作原理，最后简单说明了其技术特点。通过小扰动稳定校核，可以提高系统的小扰动稳定性。

随着电力系统的规模和复杂度的不断升级，现代电力系统的运行变得越来越复杂，同时对于电力系统的安全稳定性的要求也越来越高。电网规模的扩大导致电网动态特性更加复杂多变，发生由失稳而引发的大停电事故更加频繁。电网规模的扩大带来巨大经济效益的同时，新的技术问题也随之出现，如：长距离弱联络线并列运行，形成输电瓶颈，降低了系统的稳定裕度。研究表明，诸多大停电事故是由暂态失稳引起的。目前的暂态稳定紧急控制策略多是基于预想事故集指定的，缺乏有效的在线稳定分析软件是错失紧急控制时机，从而引发大停电事故的重要原因之一。因此，加强大电网安全稳定性分析的研究十分重要。

安全校核应用的结构和功能

安全校核应用（SCS）是智能电网调度技术支持系统四大应用类之一，为发电计划、检修计划和临时操作提供多维度安全分析支撑。

电网调度最基本的要求是安全运行，随着大区电网互联的快速发展、特高压电网建设的稳步推进，电网调度运行的技术水平和复杂程度越来

越高，加之节能发电调度的试点和推进，要求进一步挖掘电网输电能力，提高电网运行经济性，电网运行的难度越来越大。安全校核功能用于对电网进行一系列的安全分析计算，全面分析电网在各种运行方式下的安全状况，安全校核是保证特大电网安全稳定的一道重要防线，是保障电网安全、稳定、优质和经济生产运行的重要基础。

安全校核的主要应用包括检修计划安全校核、调度计划安全校核和电网运行操作安全校核，是对各种预想运行方式和实时运行方式下的电网安全分析。安全校核需要调度中心各部门以及各级调度中心进行更加密切的协调配合和精细化分工，在合理利用各类计划数据的基础上，形成准确的分析结果。

SCS总体结构如图1所示。SCS构建在一体化电网调度技术支持系统基础平台之上，通过基础平台与能量管理系统（EMS）、调度计划系统（OPS）和调度管理系统（OMS）等应用实现横向数据共享和服务共享，并实现国调、网调和省调之间的数据共享和服务共享。

安全校核应用通过基础平台SOA架构提供的服务从中心内部获得基础数据，经过校核计算后

安全校核应用 (SCS)
系统结构图

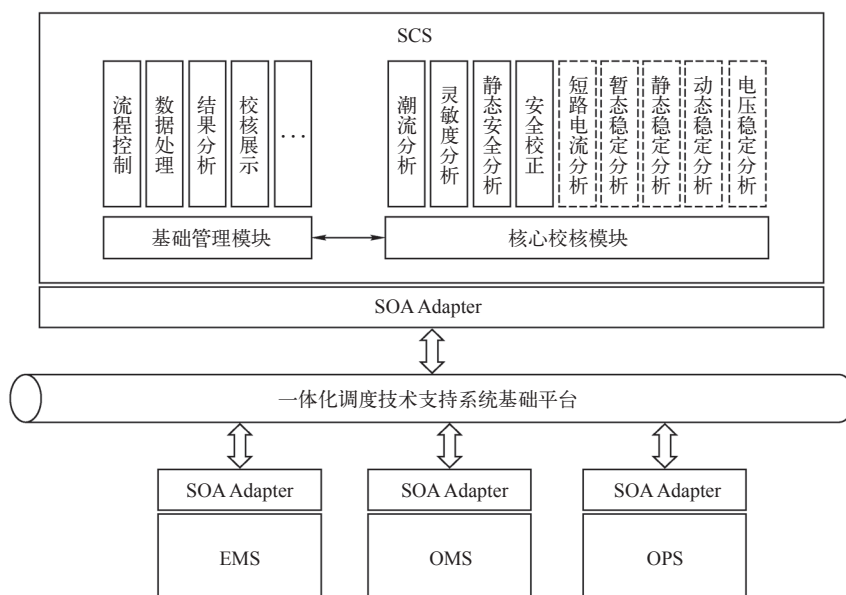


图1 SCS总体结构图

将校核结果通过基础平台与EMS、OPS和OMS等应用系统进行数据交换，以实现跨平台应用系统间的数据共享。

基础管理模块通过流程控制实现对安全校核的流程管理与配置；通过数据处理实现对基础数据的检验，保证数据的准确性和完整性；通过统计分析实现校核结果分析，为用户提供计划编制决策依据；通过校核展示以可视化手段展现校核结果。

校核计算是安全校核的核心模块，提供潮流计算、灵敏度分析、静态安全分析、短路电流分析和暂态稳定分析等安全分析计算服务，满足多种安全指标分析计算。安全校正服务根据安全分析反馈结果，对调度计划进行校正计算，形成满足安全要求的调度计划。本文主要探讨的是SCS核心校核模块中的小扰动稳定校核技术。

小扰动稳定性校核的主要功能

电力系统小扰动稳定性是指电力系统在受到小扰动之后恢复同步的能力。在电力系统小扰动稳定分析中，由于扰动比较小，所以一般将电力系方程组在一个稳定运行点处进行线性展开，计算电力系统的状态矩阵，根据其特征值和特征向量来分析系统的小扰动稳定性和振荡模式的性质。

针对校核时间断面潮流，考察其在小扰动下的动态稳定性。

小扰动稳定性校核，采用特征值分析法等成熟方法，分析其受到小扰动后，在自动调节和控制装置的作用下保持运行稳定的能力，判断校核断面潮流的动态稳定性，得出系统小扰动的动态稳定性结论。

小扰动稳定性分析如图2所示。图2中，输入数据包括以下几点。

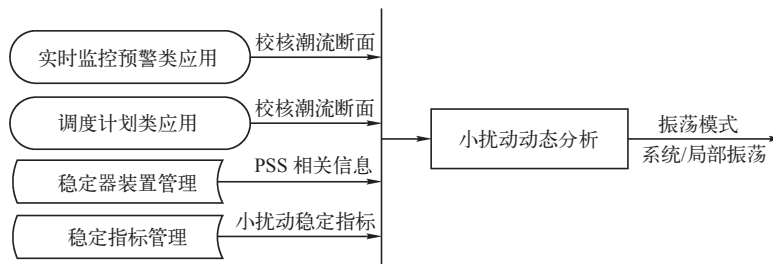


图2 小扰动稳定性分析

- 1) 待校核断面数据。
- 2) 电网安全稳定计算模型和参数，如发电机、直流系统和负荷模型参数等。

- 3) 稳定器投退信息。
- 4) 小扰动稳定性阻尼比阈值。

输出数据包括以下几点。

- 1) 系统阻尼比，振荡频率，主导振荡模式。
- 2) 小扰动失稳的校核时间断面。

针对在线时间断面或调度计划提供的断面数据，需要对小扰动稳定性进行评估，调度员或计划方式人员需提交准备好的断面数据、各设备动态参数，并设置相应参数，得出系统小扰动的动态稳定性结论，并由画面显示。

小扰动稳定校核的主要功能有如下几点。

1) 满足大规模交直流互联电网动态稳定分析的需求。

2) 实现常用系统元件模型，包括同步机、励磁系统、调速器、PSS和FACTS等模型。

3) 实现用户自定义模型，建立各种模型以实现所需的计算功能，包括电力系统各种一次设备模型（包括发电机、直流线等），超/特高压直流输电线路及其控制系统模型，灵活交流输电系统（FACTS）元件模型等。

4) 能输出小扰动动态稳定分析的特征值、特征向量、振荡频率和阻尼比，能给出特征值分布及其模态图。

小扰动稳定性校核的工作原理

以待校核断面为基础，结合电网安全稳定计算模型和参数，对系统进行线性化，形成描述线性系统的状态方程，通过求解状态矩阵的特征值在线分析系统的动态性能。特征值计算中采用隐式重启Arnoldi算法（IRAM）自动求解电网弱阻尼的低频振荡模式，并从中筛选出关键的主导振荡模式，并在系统阻尼不足时给出告警信息。

线性化过程中发电机采用考虑阻尼绕组的双轴6阶模型，计及转子超瞬变过程，且转子 q 轴考虑阻尼绕组。励磁系统采用连续旋转直流励磁系统模型、无刷旋转交流励磁系统、晶闸管励磁系统、电势源—可控整流励磁系统和新型旋转励磁系统等模型。汽轮机采用串联组合、单再热器的汽轮机模型，并计及调速器的影响；水轮机采用带软反馈调节的调速器和原动机模型。对于已

经安装PSS的机组，考虑电力系统稳定器（PSS）模型。对电网中的大部分负荷采用静特性负荷模型和感应电动机负荷模型。

隐式重启Arnoldi算法（IRAM）利用位移求逆变换，将原始矩阵位移点附近的特征值映射成变换后矩阵的主导特征值，通过求解降阶后矩阵的特征值来逼近原矩阵特征值的子集。

小扰动稳定分析计算流程如图3所示。

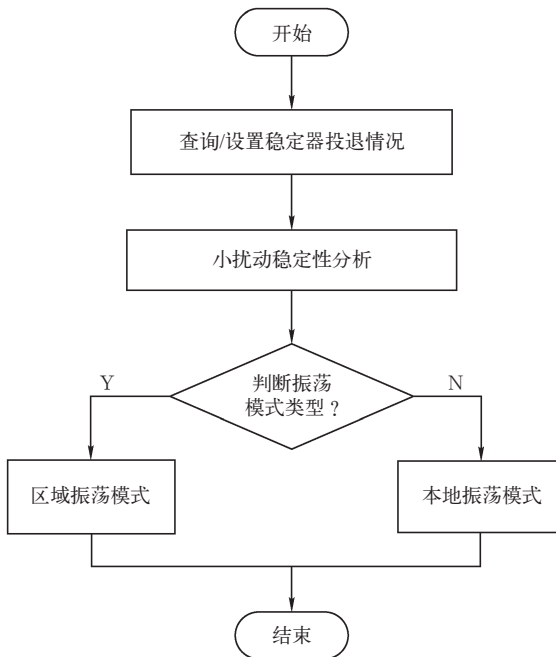


图3 小扰动稳定性校核流程图

小扰动稳定校核的技术特点

采用隐式重启（IRAM）方法计算系统的特征值，该方法只要给定移位点就可计算靠近它的特征值集合。基于IRAM算法的小扰动稳定分析可以在整个复平面上寻找一定频率范围内特征值，并保证计算出特定范围内的所有临界特征值。

结束语

小扰动稳定校核是智能电网调度技术支持系统SCS应用中重要的一部分，从目前的研究来看，小扰动稳定校核为后续辅助决策提供稳定计算校核结果。若小扰动稳定计算校核结论为失稳的校核断面，则自动计算辅助决策调整方案，从而提高系统的小扰动稳定性。EA

（收稿日期：2019.08.29）

（编辑：朱金凤）