

南方电网综合防御框架的构思

赵建国¹, 薛禹胜²

(1. 中国南方电网有限责任公司, 广东 广州 510623;

2. 国网南京自动化研究院/南瑞集团公司, 江苏 南京 210003)

Design of Blackout Defense Framework for China Southern Power Grid

ZHAO Jian-guo¹, XUE Yu-sheng²

(1. China Southern Power Grid Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510623, China;

2. Nanjing Automation Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210003, China)

Abstract: Aiming at characteristics of complicated AC/DC power transmission, an adaptive space-time coordinative framework of blackout defending is proposed for China Southern Power Grid. Based on the wide area information platform, online quantitative stability analysis and adaptive decision-making techniques, this defending system will upgrade the SCADA system from static category to dynamic one, the EMS from offline security analysis to online one, the stability assessment from a qualitative manner to quantitative one, the decision-making from conservative fashion to adaptive optimization one. New innovations and their engineering applications are expected, such as the stability margin assessment of measured swing curves without using system models and parameters, eigenvalue techniques along the trajectories of non-autonomous strong-nonlinear systems, development of a similarity index for high-dimensional trajectories and model identification techniques based on it, simulations of cascading outages considering weather and thunder information and the early warning of the blackout risk, and risk coordination among different controls.

Key words: blackout defending; knowledge extraction from trajectory data acquired by PMU; adaptive space-time coordination; hybrid optimization; risk-based decision-making; early warning of cascading outages

摘要: 针对南方电网复杂的交直流混合输电的特点, 构思时空协调的停电防御框架。在广域信息平台、在线量化稳定分析和自适应控制决策等环节上, 提升防御灾变的功能, 即从静态到动态范畴, 从离线到在线, 从定性到定量, 从固定设置到自适应优化; 其中特别强调相继故障的风险预警和多方面的协调。其创新点和工程应用还包括: 在没有数学模型的支持下, 评估实测时间响应曲线的轨迹稳定裕度; 非自治非线性系统的特征根分析技术; 高维受扰轨迹之间的相似度指标, 及其为基础模型识别技术; 将气象和雷电等非电力信息整合到停电防御框架中, 对相继故障的风险进行仿真和预警; 基于风险管理概念的协调控制。

关键词: 停电灾变的防御; PMU 轨迹数据的挖掘; 时空协调; 混合优化; 风险决策; 相继故障的预警

南方电网 2007 年底的装机容量约 128 GW, 统调的最高负荷 68.8 GW; 2010 年装机规模将进一步增加到 164 GW。供电的 5 省区面积为 $1 \times 10^6 \text{ km}^2$, 人口 2.3 亿。其中, 云贵两省占有 78% 水电资源和 95% 煤炭储量, 但 GDP 只占 19%; 广东省仅有 3.5%

的一次能源,其GDP却占70%。2007年通过千公里级长的6回交流和4回直流输电线东送的西电,占广东省用电量的23.2%,其重要性不言而喻^[1]。

南方电网是世界罕见的交直流混合运行的大电网,技术极其复杂。“十一五”末将建成8交5直的骨干网架,包括世界上第一个 ± 800 kV特高压直流输电工程,西电东送的规模将达24 GW。由于电网动态行为复杂性与运行难度的增加,如果不能快速跟踪工况的变化,或不能及时预警相继事件的风险,或不能及时调整各道防线的时空决策,则偶发故障就有可能演化为系统范围的停电灾难^[2,3]。因此,迫切需要将根据离线预案归纳出来的固定运行限值和策略改进为在线协调型的防御,并藉此规避由偶然故障引发灾变的风险。

防御系统的设计问题也就必然引起国际电力界的广泛关注^[4]。文献[5-10]提出用分布式自治实时系统来改进监控功能,赋电力系统以自愈能力的设想。但并没有研究稳定控制体系的功能设计和组织,也没有涉及协调的模型与算法;另一个基础性缺陷是没有将自愈的理念与大停电的演化规律相关联。

我国学者也进行了大量研究和探索^[11-15]。文献[3,16,17]在分析大停电演化规律的基础上,构建了综合协调防御系统的基本框架。指出现代电力系统防御框架的特征应该包括:将目前的监控和数据采集(SCADA)系统及能量管理系统(EMS)扩展到动态范畴的DSCADA/DEMS;采集和处理广域的静态和动态信息,实现在线的稳定量化分析和预决策;实现稳定控制的自适应优化及协调。2002年以来,按此概念研发成功的在线稳定分析系统及广域监测、预警与协调防御系统(WARMAP)已经先后在广西、华东、江苏和四川等电网投入正式运行,积累了宝贵的工程应用经验^[18-20]。

在这样的背景下,提出了南方电网综合防御框架的整体构思^[21]。

一方面,该框架继承并进一步提升了国内停电防御系统在统一的广域信息平台、在线量化的稳定分析和自适应的控制决策等环节上的成功经验:从静态安全的监控提升到动态范畴,从定性分析提升到量化指标,从离线按典型工况制定的运行限值改进为在线跟踪实际工况计算的稳定域,将孤立分析功角、电压、频率和热稳定性的任务综合为全局稳定域的估计。该框架充分考虑了南方电网混合输电

网的特点,以及原有的继电保护和系统保护管理系统、规划信息系统、电力交易信息系统、气象/雷电等各种环境信息系统的融入和协调。

另一方面,该框架提出了原创性的基础研究及其工程应用。例如:为了掌握南方电网低频振荡的规律与机理,需要将特征根技术扩展到时变的强非线性系统;为了掌握次同步振荡的规律与机理,需要开发其量化分析技术;为了使模型和参数识别技术实用化,需要建立高维受扰轨迹灵敏度的概念并开发其量化分析技术;为了有效分析相继故障风险并及时预警,需要将相继故障的风险分析与气象/雷电等非电力的环境信息相融合。

1 南方电网的现状与发展

1.1 南方电网安全稳定性的特点

南方电网的西电东送具有强直流、弱交流的特点,多馈入HVDC的送电比重大,交直流相互影响大,动态行为非常复杂。受端换流站之间的交流电气距离很近,当直流单极闭锁时,主变中性点直流分量可能损坏主变。当直流双极闭锁时,功率转移使交流电压急剧下降,加上广西电网和广东电网的动态无功支撑能力较弱,较易引起电压失稳。反之,当交流系统电压低于70%的时间超过300 ms时,多条直流可能同时闭锁,系统可能失步。此外,电网动态稳定问题突出,低频振荡起因不明,线路检修、水电开机、PSS的投退对阻尼的影响很大;需要协调PSS与直流调节来提高系统阻尼;局部存在电磁环网;受端系统动态无功支撑不足。

主网正常方式能满足稳定导则第一级标准,但全年高峰时段西电东送主通道要压极限运行。随着负荷的急剧增长、HVDC和FACTS等新设备的大量投运,南方电网的动态特性,包括同调特性、失稳模式和关键断面将继续快速变化。随着贵广第二回和云广特高压直流的陆续投入运行,受端电网中,电气距离很近的逆变站数目进一步增加,多个直流系统同时换相失败的风险大大增加。

相继开断可能先后发生在不同的交流通道,或不同的直流通道,或直流通道与交流通道,或送端电网与受端电网。某些交流故障可能导致多个换流站同时发生换相失败,某些还可能引发多回直流的100 Hz保护动作,而500 kV保护拒动的后果则十分严重。由于故障形态的组合数量成灾,根据典型

场景来确定控制策略表的传统方法难以应对，而必须对稳定进行在线量化的分析和控制。一方面，由于供电范围内的自然条件易诱发故障，大机组和输电设备的非计划停运等故障场景复杂，功角稳定和电压稳定等各种安全问题共存，故相继故障演化为大停电的概率较大。另一方面，由于珠江三角洲的单位用电量所创造的 GDP 远高于全国平均水平，故停电代价很高。概率和代价这两方面的因素大大增加了相继故障演化为大停电的风险。

此外，南方电网的调峰能力较低，而 2006 年的最大峰谷差却高达 19 GW；目前系统电压和无功调整主要靠发电厂的无功出力调度，使枯水期不必要地多机轻载运行；电力市场环境进一步增加了调电和安全稳定控制的难度，更突出了优化和协调众多稳定控制系统的重要性。除交直流系统的控制保护需要协调外，厂网保护之间也存在着协调整定和配合的问题。

这些因素都对建设统一开放、结构合理、技术先进、安全可靠的现代化南方电网提出严峻挑战，积累的运行和控制经验在新形势下不一定能完全照搬。

1.2 南方电网的分层调度

总调负责直流系统、500kV 主网架和直调的 220kV 厂站的控制，在直流双极闭锁时切机切负荷，在平行双回线路同时跳闸时切机，在线路过载时切机或紧急直流调制，在高频时切机。五个省（区）调则各自负责所管辖的 220kV 网架，实施直调的安稳系统的切机或切负荷控制命令，并解决内部电网安全稳定问题。相继故障涉及多层时缺乏有效协调。

1.3 南方电网的调度自动化系统

2007 年底直调系统有 62 台 PMU 向南网总调发送动态数据，并参与状态估计。总调的 EMS 与五个省（区）调的 EMS 有接口，可以拼接南方电网大模型。总调 EMS (OPEN-3000) 还与电能计量系统、继电保护及故障信息管理系统、动态安全评估系统、调度生产管理信息系统、电力市场技术支持系统、气象系统等有接口，其支撑平台为综合协调防御系统提供了广域综合信息平台的基础。

信息尚未接入总调 EMS 的调度自动化系统有：水调/水情自动化系统（除海南外，各调度中心各有一套），雷电定位监测系统（除总调外，各有一套），南方电网电力市场技术支持系统。这些信息资源应

该有效利用。

1.4 南方电网的调度通信系统

总调与各省中调、直调变电站以及发电厂之间均已建成强大的光纤传输网，并正在建设第二个光纤网。这是防御框架的重要基础设施。

1.5 在线预决策的基础

南方电网安全稳定紧急控制系统已有相当规模，但基本采用离线策略。它们对运行方式变化的适应性很差，而且对离线策略的控制效果没有跟踪评估；在离线策略有问题时，没有应对措施。对低频、低压减载的实际控制情况缺乏监视。

目前南方电网在线预决策方面的经验来自：南网稳定控制在线分析及预决策系统，广西电网预防控制在线预决策系统，广东韶关电网自适应安控系统，广东电网在线预决策稳定控制系统。

2 南方电网综合防御系统的设计总则

南方电网安全稳定综合防御系统应在保证实用性的前提下，提高科技含量，必须能在日常调度中发挥监视、预警、运方规划、决策支持的功能。因此，项目的成败将以调度员的认可程度来考核。

框架设计制定了完整的目标方案，统一规划了应用功能，并强调了信息安全要求；要求系统具有良好的开放性和可扩展性，便于逐步实施。在充分继承国内外成功经验的基础上，进一步提升广域信息平台、在线稳定量化分析，以及自适应控制决策优化技术。同时，针对南方电网的特点和具体的要求，要争取更多的原创性成果。

该防御系统实时监视电网动态安全性，在线综合分析评估暂态、静态和动态安全性，全面协调不同安全稳定问题的需要，对提高南方电网安全稳定运行水平起着至关重要的作用。不仅针对故障后的暂态安全稳定、静态安全稳定和设备过载问题，而且解决电网实际动态过程中的低频振荡和电压、频率安全问题；不仅解决暂态功角稳定问题，而且要解决暂态电压、频率安全稳定、阻尼、过载控制问题；有一定的能力来处理多重故障和相继故障，预警与辅助决策，评估控制效果。分阶段实施，向调度员提供深层次的知识，甚至自适应的决策智慧（如图 1 所示）。

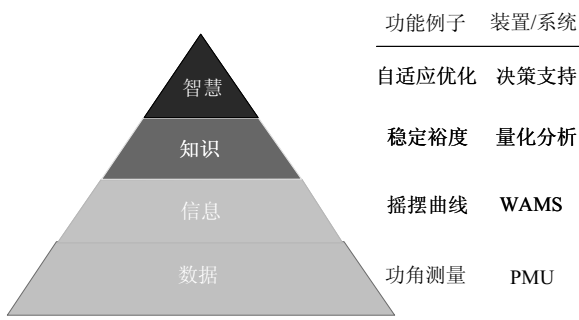


图1 给调度员提供的不仅是数据和信息，还有知识，甚至智慧

Fig. 1 Not only data and information, but also knowledge, even wisdom are provided.

3 总体框架

协调防御系统的中心站由一个广域综合信息平台 and 7个功能子系统构成(见图2)。该平台将来自RTU、PMU、安全稳定控制系统、气象信息系统和雷电定位系统等不同信息源的信息进行分类整合与管理,分为电网运行实测信息、系统模型参数信息、电网运行环境信息和市场经济环保信息等类型,作为实现安全稳定综合协调防御应用功能需要的原始信息输入,为安全稳定综合协调防御奠定坚实的信息基础;同时,为应用与管理安全稳定综合协调防御的结果提供技术支撑。



图2 WARMAP 软件框架

Fig. 2 Software Configuration of WARMAP

7个功能子系统是:安全稳定实时监控与预警子系统,在线预防控制与辅助决策子系统;安全稳定控制在线协调与优化子系统,超短期安全稳定态势预测与辅助决策子系统,基于在线数据的电网运行离线研究与辅助决策子系统,实测数据离线综合应用研究子系统,电力交易计划安全校核子系统。

当前的安全稳定规程按故障类型将扰动分为严重性不同的三级,各自对应一道防线,并孤立地配

置,分析和整定。各道防线在复杂场景下各自为政,不但不利于防御大停电,并有可能导致相继故障。协调防御系统应该尽量克服这些缺点。协调的多面性反映在:不同时间尺度的数据中,不同的物理稳定性中,不同的防线之间,不同的控制空间之间,交直流输电通道控制之间,相继故障和多重故障的控制之间,不同的控制时间之间,不同的控制规律之间,不同的控制系统之间,不同的调度层之间,安全性与经济性之间,以及信息的充分性和有效性之间。

预防控制和紧急控制采用预测律,针对的是不安全后果尚未充分表现的事件。继电保护和校正控制都是反馈型,针对的是不安全后果已经突现的事件。虽然每道防线都有其他防线不可替代的作用,但各道防线之间的相互影响使它们的协调十分重要。故障前的开环前馈型连续控制,故障后的闭环前馈型离散控制,不安全现象被检测到后的闭环反馈型离散控制之间的协调应该达到风险代价最小的目的。因此,在各道防线自适应优化的基础上,综合防御框架还应该实现各道防线之间的时空协调,用综合协调的观点重新审视以前孤立研究的三道防线。该协调过程不应该要求先指定该故障对应于哪一道防线,而选择的措施也不再局限于某道防线中。

4 功能设计

南方电网安全稳定综合防御系统的应用功能为:电网安全稳定实时监控与预警、在线预防控制与辅助决策、安全稳定控制在线协调与优化、电网超短期安全稳定态势预测与辅助决策、离线运行方案辅助决策、在线数据离线综合应用研究,以及电力交易计划安全校核等(见图3)。

这些应用功能软件直接从动态数据中分析功率振荡、电压和频率动态特性;实时监控低频振荡模式、电压和频率动态安全、稳控系统的运行状态及实际控制量。基于状态估计结果,在线分析小扰动稳定性,及各预想故障发生后的暂态、静态和动态安全稳定裕度、模式和输电功率极限,实现实时预警。在线评估离线控制策略的效果。当电网具有足够的安全稳定裕度时优化经济指标,否则提供预防控制建议。根据实际工况及历史信息,计算各故障场景的风险值作为其关注度,生成故障表。协调暂态、动态和静态安全稳定的控制,必要时预先确定

追加控制措施。超短期地预测安全稳定态势，并结合气象和环境信息，以及保护装置可靠性信息，对下一可能的相继开断事件进行快速预测与风险分析，实现相继故障风险的在线预警。基于在线运行工况，无缝地进行离线运方研究。此外，还提供比较仿真结果与实测轨迹的工具，以及电力交易计划的在线安全校核。

通过解耦-聚合方法来协调防御，在讨论子问题时，将其他控制措施视为固定的仿真场景。其中考虑了电流、电压、频率和功角等多种物理约束，以及由不同扰动场景所对应的多目标优化。

如果发现动态行为违约，就在控制空间中按性能代价比来选择搜索方向；得到沿该方向使系统稳定的可行解。由于灵敏度系数是运行点的局部信息，故非线性优化需要迭代搜索，仅考虑局部性能的运行策略和控制措施可能会恶化全局的安全稳定性。搜索过程中应遵循多机系统稳定控制的规律：

(1) 所有紧急控制措施对前向摆动和反向摆动的影响相反；

(2) 临界簇中的机组对稳定的影响与非临界簇中的相反；

(3) 某一个因素在减少临界簇加速功率的同时，也有可能减少其互补簇的加速功率；

(4) 当多种措施起作用时，其综合影响由稳定裕度函数决定；

(5) 过量的控制可能反而起负面作用。

这些规律性知识对指导算法的迭代方向和增进搜索的效果有重要价值。

迭代过程中利用稳定裕度的定量指标可以有效地提前检测并避免控制负效应的发生。临界发电机簇、临界负荷簇、失稳模式及其随着参数的变化等概念有助于克服搜索过程中的盲目性。搜索中优先选择的是控制措施的性能代价比最大的方向而不是通常采用的控制代价最小的方向。显然，量化分析方法和先进的定性分析方法是不可或缺的（见图 4）。充分考虑具体系统控制中的内在性质并借鉴数学优化发展的成果则可望获得具有问题特色的高效解法。

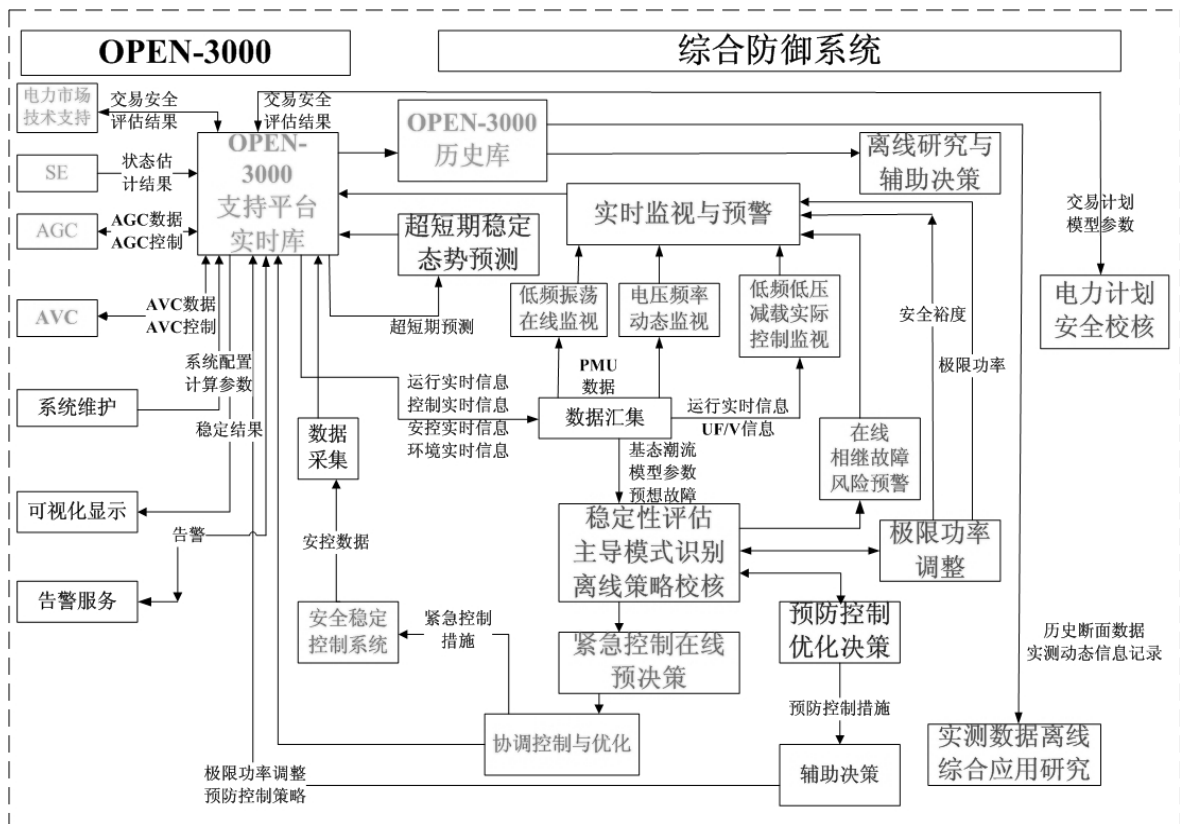


图 3 综合防御系统的应用功能
Fig. 3 Application Functions

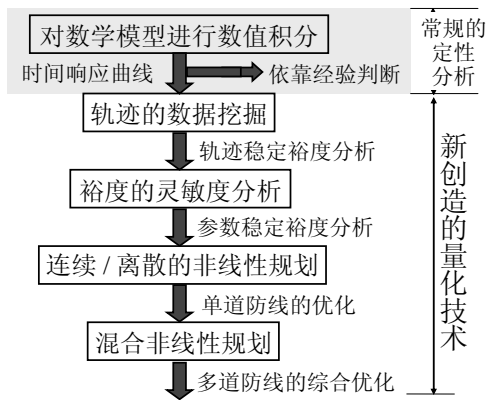


图4 量化分析及优化技术

Fig. 4 Quantitative algorithms are one of the essentials.

5 新理念及新功能

一方面,在不辅以 SCADA 数据的条件下,直接从 PMU 采集的轨迹数据中挖掘尽量多的知识。对单纯 PMU 信号的数据挖掘包括:故障定位、快速识别失稳模式、捕捉振荡中心及其变化、快速确定解列面、振荡监视与特性分析、传输功率实时监视、辅助服务质量监测、对数学模型和参数的离线校核和在线辨识。如果要将 PMU 直接应用到稳定的量化分析和预测型控制,则必须在没有数学模型支持的情况下,求取实测轨迹的稳定裕度和灵敏度值,并根据控制后的实际(或仿真)轨迹进行复盘(或预估效果)。具有重要创新意义的基础研究包括:在不掌握系统模型、参数与工况的情况下,评估实测轨迹(特别是稳定的轨迹)的稳定裕度算法;用简单有效的量化指标来反映两组高维受扰轨迹之间的相似程度,开发模型与参数识别的实用化技术。

另一方面,将 PMU 采集的某断面数据与 SCADA 数据融合,以提高状态估计性能;将 PMU 采集的轨迹数据与数字仿真的结果相融合,以获取对该电力系统稳定性的知识甚至智慧。它将 EMS、动态培训仿真器、电力市场支持系统和动态仿真器等结合,对包括仿真结果在内的多渠道信息进行数据挖掘,包括安全稳定指标的在线评估,以及大型互联电网在线充裕性指标、安全性指标、可靠性综合指标。给出当前工况下每个预想故障的暂态功角稳定裕度、暂态电压偏移可接受性裕度、暂态频率偏移可接受性裕度,相应的发电机极限功率、联络

线极限功率和负荷极限功率,复杂相继性故障的风险预测及控制效果的预测、后验。

该框架的远期目标是与预防控制、继电保护、紧急控制、校正控制、阻尼控制和恢复控制等防线相结合,向这些控制系统提供在线决策支持。以全局的观点来协调多道防线的功能、数据流和工作节拍,以协调电力系统的安全稳定性和运行经济性。

6 结束语

尽快构建一流的综合协调防御体系已成为南方电网公司极其紧迫的任务。而南方电网也已具备很好的基础,来实现停电灾变的综合防御。为此,必须充分利用已有资源,采用先进技术,实现在线暂态安全定量评估及在线优化预决策,协调各道防线。

防御体系的要点包括:广域、在线、量化、优化和协调,其核心功能包括基于轨迹的数据挖掘、在线暂态安全的定量评估、在线安全稳定极限的自动搜索、稳定控制的在线预决策、控制策略表的在线刷新。为此,在广域数据平台、操作系统和网络通讯协议、应用软件等方面采用先进的技术,确保系统的开放性和可靠性。在充分继承国内外成功经验的基础上,将进一步提升广域信息平台、在线稳定量化分析,以及自适应控制决策优化技术,包括:各电网将共享实时信息;预测电网稳定态势;将气象和雷电等环境信息用于电网在线稳定分析,实现相继故障的风险预警;将调整直流功率作为预防措施,将紧急调制直流功率作为紧急措施,与交流系统的常规措施相协调。

可望取得的创新成果包括:

——在基础研究方面,进一步发展非自治非线性运动系统稳定性理论,将时变微分代数方程稳定性的量化理论拓展到无模型运动轨迹稳定性的范畴;

——在信息平台整合方面,遵循国际标准,满足开放性要求,集成由 PMU、SCADA、故障录波器、设备保护信息和系统保护信息、气象信息、雷电信息、水情信息、地貌信息等各种数据采集渠道提供的广域信息,提高信息的可靠性(包括信息的充裕性和安全性),滤掉表层信息,通过简洁直观的人机界面,提供战略和战术的决策支持信息;

——在算法方面,深化大系统协同理念,完善时间-空间-对象的综合量化分析,完善离散和连续

控制措施的混合规划；

——在控制方面，进一步降低二次系统潜在故障的风险，完善离散和连续控制措施的协调，完善开环和闭环控制的协调。

参考文献：

- [1] 祁达才. 建设高效节能的现代化南方电网[J]. 南方电网技术, 2007,1(2):1-5.
QI D C. To make China Southern Power Grid of high efficiency, energy saving, and modernization[J]. Southern Power System Technology, 2007,1(2):1-5.
- [2] US-Canada Power System Outage Task Force. Final report on the august 14, 2003 blackout in the United States and Canada: causes and recommendations[R]. April 2004.
- [3] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架：（一）从孤立防线到综合防御[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1):8-16.
XUE Y S. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part I from isolated defense lines to coordinated defending[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1):8-16.
- [4] WG C2.02.04 Technical Brochure. Defense plan against extreme contingencies[G]. Electra, 2007 April.
- [5] AMIN M. Toward self-healing energy infrastructure systems[J]. IEEE Computer Applications in Power, 2001,14(1):20-29.
- [6] LIU C, JUNG J, HEYDT G, et al. The strategic power infrastructure defense (SPID) system: a conceptual design[J] IEEE Control System Magazine, 2002,20(4):40-52.
- [7] MOSLEHI K, KUMAR A, CHING H, et al. Control approach for self-healing power systems: a conceptual overview[C]. Electricity Transmission Conference, Carnegie Mellon (USA): 2004.
- [8] TAYLOR C, ERICKSON D and WILSON R. Reducing blackout risk by wide-area control: adding a new layer of defense[C]// Liege :Proc. of 15th Power System Computation Conference, 2005.
- [9] AVILA-ROSALES R and GIRI J. Wide-area monitoring and control for power system grid security[C]// Liege : Proc. of 15th Power System Computation Conference, 2005.
- [10] KREBS R, LEMMER S, and RETZMANN D, et al. Blackout prevention by online network and protection security assessment[C]. IEEE PES General Meeting ,2007.
- [11] 袁季修. 电力系统安全稳定控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
YUAN J X. Security and stability control for power systems[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.
- [12] XUE Y S. Defense schemes against power system blackouts in China with high load growth[C]// Liege : Proc. of 15th Power System Computation Conference, 2005.
- [13] 薛禹胜. 南方电网安全稳定防御体系的优化和协调[J]. 南方电网技术研究, 2005,1(1):1-8.
XUE Y S. Optimization and coordination of the online defense scheme in South China Power Grid[J]. Southern Power System Technology Research, 2005,1(1):1-8.
- [14] 张伯明, 吴素农, 蔡斌等. 电网控制中心安全预警和决策支持系统设计[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(6):1-5.
ZHANG B M, WU S N, CAI B, et al. Design of early warning and security countermeasure system for electric power control centers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(6):1-5.
- [15] SHI L, CHANG N, LAN Z, et al. Implementation of a power system dynamic security assessment and early warning system[C]. IEEE PES General Meeting 2007, June 2007.
- [16] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架：（二）广域信息、在线量化分析和自适应优化控制[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2):1-10.
XUE Y S. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part II reliable information, quantitative analyses and adaptive controls[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2):1-10.
- [17] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架：（三）各道防线内部的优化和不同防线之间的协调[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(3):1-10,106.
XUE Y S. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part III optimization and coordination of defense-lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(3):1-10,106.
- [18] XUE Y S. Some viewpoints and experiences on WAMS and WACS, Paper 08GM 0570[C]. Pittsburgh : IEEE-PES 2008 General Meeting, 2008.
- [19] XUE Y S. Progresses of Blackout Defense Systems in China, Paper 08GM 1002[C]//Pittsburgh : IEEE-PES 2008 General Meeting, 2008.
- [20] XUE Y S, FANG Y. Trends in the three-defense-lines of power systems in China[C]// Mumbai : Proc. of the 16th Conference of the Electric Power Supply Industry, 2006.
- [21] 中国南方电网有限责任公司, 国网南京自动化研究院. 南方电网安全稳定综合防御系统方案研究(项目)[Z]. 2007.

收稿日期：2008-01-28

作者简介：

赵建国（1958—），男。中国南方电网有限责任公司党组成员、董事、总经理，高级工程师，硕士，长期从事电力系统规划、建设和生产管理管理工作。

薛禹胜（1941—），男。中国工程院院士，博士生导师，总工程师，主要从事电力自动化方面的研究工作。

（本文责任编辑 张亚拉）

※信息与报道※

南方电网四项工程获国家优质工程奖

2007年度国家优质工程颁奖大会近日在北京人民大会堂举行，南方电网公司天广四回 500 kV 交流输变电工程、500 kV 台山电厂至香山线路工程、500 kV 黔峰双回输电线路工程、大理 500 kV 输变电工程等 4 项工程获得 2007 年度国家优质工程银质奖。

获奖工程不仅质量过硬，在新技术、新设计和新工

艺方面也有突出表现。其中，天广四回是南方电网公司“十一五”西电东送的第一个工程，并应用了紧凑型线路设计；500 kV 台山电厂至香山线路中西江大跨越铁塔高度是南方电网区域最高、全国第二的大跨越塔，高达 215.5 m，单基重 1650 多吨。

（本刊编辑部）