

大型城市电网安全稳定控制装置切负荷风险监控功能设计

王 斐¹, 沈凤杰², 李 晶¹, 蔡 莹¹, 刘琳玲², 王 珂¹

(1. 广州供电局有限公司, 广东省广州市 510620; 2. 南瑞集团公司(国网电力科学研究院), 江苏省南京市 211006)

摘要: 针对大型中心城市电网重要用户供电可靠性的实际需求, 分析了现有安全稳定控制装置管理系统发展现状。在此基础上, 结合其调管范围覆盖低压用户的资源优势, 提出了安全稳定控制装置切负荷风险监控功能设计方法, 将安全稳定控制装置管理系统应用功能从传统的监视管理扩展至切负荷风险在线预警、辅助决策及远程控制, 并介绍了此功能在广州电网的实际应用情况。

关键词: 大型城市电网; 安全稳定控制装置; 切负荷; 风险监控

0 引言

为加强电力安全事故的应急处置工作, 规范电力安全事故的调查处理, 控制、减轻和消除电力安全事故损害^[1], 国务院 599 号令《电力安全事故应急处置和调查处理条例》于 2011 年 9 月 1 日正式施行。条例中明确了电力安全事故定义、事故级别划分标准, 并对事故调查、处罚及追责等提出了实施细则。随后, 国家电网公司、南方电网有限公司均出台了相应的事故调查规程。由此可见, 从国家层面对电网尤其是对用户负荷密集、重要用户比例较高的大型城市电网的安全可靠供电提出了更高的要求。

电力安全事故中造成电网减供负荷或城市供电用户停电的原因主要包括电力设备损坏或故障、安全稳定控制装置切负荷、低频低压减载装置切负荷以及调度命令负荷控制措施(如事故拉路和有序供电等)。前者为物理现象, 非人为因素, 后三者是电网调度运行中常用的紧急减负荷手段。在事故等级划分标准中, 可能引起电力安全特别重大事故和重大事故的判据不仅考虑电网减供负荷量, 还包括了城市供电用户停电范围。因此, 要实现电网安全稳定控制装置切负荷风险评估的目标, 必须在调度自动化系统中解决对供电用户的监视, 即将调度自动化系统在线监视范围从传统的电网一次设备、二次设备扩展至用户层面。

随着现代电力系统规模日益扩大和复杂化, 以及用户对电能质量要求的不断提高, 特别是国内外的几次大停电事故的发生, 电力系统安全可靠引

起了人们的高度重视^[2]。除了需要建立一个结构合理、联系紧密的电网来满足安全稳定运行要求之外, 还需要建立合理完善的电网安全稳定控制系统来弥补电网一次系统的缺陷以及事故情况下的紧急控制。为了防止大的事故的发生, 现代电网逐渐形成了集中管理+区域控制的模式, 既从全网的高度统一管理各区域安全稳定控制系统, 又不影响各区域稳定控制系统的独立运行^[3-4], 这里的集中管理即安全稳定控制装置集中管理系统(简称稳控集中管理系统)。

从系统功能上, 早期的稳控集中管理系统多以实现安全稳定控制装置运行状态的实时监视为主要目标^[2-3, 5-6]; 随着计算机技术的发展以及稳控专业管理需求的不断扩充, 逐渐形成了“监视-告警-管理”的系统功能框架, 在运行监视的基础上, 提供定值召唤及巡检比对、动作录波曲线显示、稳控系统运行统计等相关功能, 为稳控系统的运行、管理提供便捷的技术服务。

在负荷密集的大型城市电网中, 电网安全稳定运行及高可靠性供电是其首要任务, 但目前的稳控集中管理系统的功能与其特殊要求还存在一定的差距, 主要表现在如下。

1) 缺乏对稳控数据的有效利用, 系统应用大多仍停留在监视管理阶段。

2) 不能实时评估离线制定的稳控策略、稳控装置的实际运行状态与当前电网运行工况是否匹配。

3) 未能充分利用城市电网调度系统电网模型, 实现对稳控装置切除负荷风险进行监控, 与高可靠性供电要求不相符。

4) 缺乏降低或消除稳控系统切负荷风险隐患的远程控制手段。

1 技术要求与现状分析

要解决现有稳控集中管理系统功能存在的不足,更好地满足大型城市电网的实际使用需求,需要落实以下技术条件:①具有区域稳控系统的调管权限;②电网模型覆盖低压网络;③建立稳控装置策略模型;④建立负荷线路与供电用户的关系数据库;⑤获取到稳控装置采集信息以外的负荷数据;⑥建立对远方稳控装置进行控制的审核机制。

在网省级电网中,一般仅能满足部分条件,如省级电网设备建模范围一般在 220 kV 及以上,无法覆盖低压甚至配电网络,也就无法建立低压用户及负荷线路的关系数据库,而这些正是大型城市电网的优势。根据条件①可以实现城市电网稳控装置运行状态监视,采集稳控装置运行状态、控制元件电气量、相关压板或通道状态等;根据条件②和③可以实现稳控系统当值策略在线识别,预知电网当前运行工况下稳控装置的控制措施,再结合条件①则可以判断稳控系统当值可执行策略与离线制定的控制策略是否匹配,即离线制定的控制策略能否得到顺利实施、是否符合策略制定的预期;在此基础上,根据条件④可在线统计稳控系统控制措施执行后对供电用户的影响,包括会造成多少用户失压;条件⑤则弥补了稳控装置布点上的不足,有助于系统精确统计全网及各分区电网的总负荷;条件⑥可以为稳控系统切负荷可能产生的风险提供预防控制手段,即当稳控系统当前可执行控制措施量不足或会造成重要用户失压风险时,可以通过远方投退控制允切压板,增加当前可控制措施量或退出对重要用户的控制,来提高电网安全稳定裕度及供电可靠性。

为了更好地理解本系统如何解决并利用以上技术条件,有必要介绍一下稳控集中管理系统的结构。稳控集中管理系统主要由主站系统、通信网络、稳控装置三部分组成。其中,主站系统(以下若无特殊说明,稳控集中管理系统即为主站系统)设置在调度中心内。

从系统结构上,按照其与能量管理系统(EMS)的关系,主站系统经历了独立系统、一体化系统两个主要发展阶段^[2-3,6]。独立系统具有规模小、建设成本低的特点,但需要与 EMS 通过网络进行信息交互,比较适用于局域电网或大型企业内部电网;一体化系统具有规模大,一次性投资大,结构复杂等特点,大多通过统一支撑平台共享 EMS 电网一次设备模型和实测数据等各类信息,与 EMS 共用数据库、工作站、交换机等硬件设备。目前大多电力系统调度机构一般采用一体化系统方案。

现代典型的稳控集中管理系统架构如图 1 所示,其中 SCADA 系统表示数据采集与监控系统。

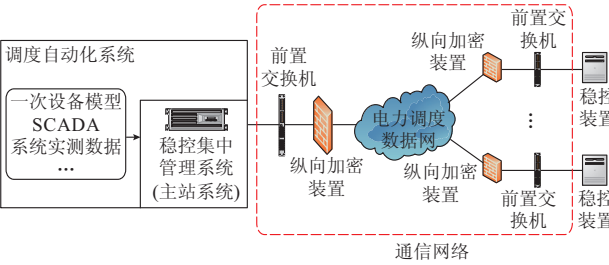


图 1 现代典型稳控集中管理系统结构图
Fig.1 Structure diagram of typical integrated management system of stability control devices

2 稳控装置切负荷风险监控功能设计

基于上述条件,本文针对稳控装置切负荷风险监控设计以下应用功能。

- 1) 稳控装置低频低压减载量统计。
- 2) 稳控系统当值策略可实施性评估及控制量不足时辅助决策。
- 3) 重要用户失压风险监控。
- 4) 远程控制。

2.1 稳控装置低频低压减载量统计

本功能适用于接入稳控集中管理系统中的集成低频低压减载功能的稳控装置和第三道防线中的低频低压自动减载装置,目的是验证电网低频低压减载负荷实际配置量是否满足整定方案要求。

输入数据包括:①可控负荷线路实测功率、切除优先级、投停状态、允切压板状态、各轮次频率及时延、各轮次需切负荷量,这些信息可以从管理系统采集的稳控装置信息中直接提取;②电网各地区第三道防线中的低频低压减载就地装置各轮次实时可切负荷评估量和全网及各分区电网实时总负荷量,此信息从 EMS 以自定义文本文件方式固定 1 min(可设置)周期获取,可同时适用于独立主站系统以及一体化主站系统;③电网调度运行低频低压减载整定方案,此信息来自电网运行方式报告,录入系统数据库,定期更新维护。

该功能的总体思路是:首先,根据信息①计算出装置各轮次实时可切负荷评估量信息,并按地区统计出稳控装置各轮次实时可切负荷评估量;其次,结合信息②,通过累加稳控装置、就地装置可切量数值,得到全网低频低压减载各轮次实时可切负荷评估量,并计算可切负荷比例;最后,利用信息③来评估电网低频低压减载实时配置量是否满足要求。

本功能的关键点在于计算单个稳控装置各轮次实时可切负荷评估量^[7]。计算稳控装置单条负荷线

路可切除量时考虑了以下约束:当前功率大于定值“负荷线路投运功率”、负荷线路投退压板状态为“投入”、优先级非零、负荷线路功率方向为正;单个稳控装置切除负荷线路采用优先级高的负荷线路先切、同一优先级的所有负荷线路同时切除的原则。设 $P_{\text{fix}(m)}$ 为第 m 轮次需切除负荷量(装置整定值), $m \geq 1$; $P_{\text{ld}(n)}$ 为低频低压功能切除优先级为 n 的所有负荷实时可切量, $1 \leq n \leq 16$; $P_{\text{range}(m)}$ 为可供第 m 轮次切除的所有负荷功率, $m \geq 1$ 。具体算法说明如下。

1) 基本轮第一轮实时可切量 $P_{\text{range}(1)}$ 等于稳控装置参与低频低压整定的所有负荷线路可切功率之和,即 $\sum_{n=1}^{16} P_{\text{ld}(n)}$ 。假设基本轮第一轮动作,实切负荷评估量等于 $1 \sim N_1$ 优先级线路功率可切量之和,即 $\sum_{n=1}^{N_1} P_{\text{ld}(n)}$,其中 N_1 表示满足基本轮第一轮需切负荷量要求的实际切除的负荷对应的最低优先级,此时 N_1 需满足 $\sum_{n=1}^{N_1-1} P_{\text{ld}(n)} < P_{\text{fix}(1)} \leq \sum_{n=1}^{N_1+1} P_{\text{ld}(n)}$ 。

2) 基本轮第二轮实时可切量 $P_{\text{range}(2)}$ 等于 $\sum_{n=N_1+1}^{16} P_{\text{ld}(n)}$,即 $(N_1 + 1) \sim 16$ 优先级线路功率可切量之和。假设基本轮第二轮动作,实切负荷评估量等于 $\sum_{n=N_1+1}^{N_2} P_{\text{ld}(n)}$,即 $N_1 + 1 \sim N_2$ 优先级线路功率可切量之和,其中 N_2 表示满足基本轮第二轮需切负荷量要求的实际切除的负荷对应的最低优先级,此时 N_2 需满足 $\sum_{n=N_1+1}^{N_2-1} P_{\text{ld}(n)} < P_{\text{fix}(2)} \leq \sum_{n=N_1+1}^{N_2+1} P_{\text{ld}(n)}$ 。

3) 依此类推,直至完成 7 个基本轮、2 个特殊轮的可切量和实时可切负荷评估量计算。“特 A 轮、特 B 轮”与“基本轮和特殊轮”共用所有可切负荷线路,计算方法与基本轮第一轮和第二轮相同。

2.2 稳控系统当值策略可实施性评估及控制量不足时辅助决策

目前,国内稳控系统应用最为广泛的控制决策方式是离线决策、在线匹配方式,即根据电网可能出现的运行方式,设定相关的故障,通过大量的离线计算得出各种组合方式为维持系统稳定所需采取的紧急控制措施,形成控制策略表,在实际运行中实现运行方式和故障类型的实时匹配^[8-11],检索相应的控制措施进行决策。然而,在电网实际运行时发生了与控制策略匹配的故障时,稳控装置的控制策略表能否顺利执行受多方面因素的影响,如通道是否

正常、出口压板是否投入、实际配置的可控制量是否满足策略要求等,任意一个环节出现问题都会导致无法全部执行离线制定的控制策略,就有可能造成“欠控”,导致电网事故范围蔓延,严重情况下可能造成大停电事故^[12-14]。

因此,为防止稳控系统在电网紧急状态下出现“欠控”甚至“拒动”情况,非常有必要在事故前对稳控系统的控制策略可实施性进行评估,以提高稳控系统紧急情况下控制措施的可靠性。实现本功能需要两类主要输入数据:稳控系统实测信息、稳控系统策略模型。具体实现思路为:①基于结构化方法在主站系统建立稳控系统策略模型^[15-16],包括方式定义、故障、动作判据、控制措施、约束条件等五大类内容;②以故障为索引,按照离线决策方式模拟稳控装置策略搜索逻辑,得出电网当前运行工况下需要采取的控制措施(M_p);③结合实测信息中稳控系统装置运行状态、通道状态、允切压板状态、待控元件投停状态、出口压板状态(智能型压板)等,综合得出实际可控制措施量(M_k);④对于双套配置(并列运行或主辅运行)的稳控装置,分别计算 A 套、B 套装置当值策略需控制措施量 M_{pa} 和 M_{pb} ,若二者不一致,系统发出告警信息,提醒运行人员关注;⑤比较 M_p 与 M_k ,若 $M_p < M_k$,认为稳控系统当值策略可以得到顺利实施,否则认为当值策略控制量不足;⑥在当值策略控制量不足的情况下,需要提前采取预防控制措施,有两种方式:增加稳控系统当前可控制措施量 M_k ,或调整电网运行方式,降低断面潮流水平,减少稳控系统当值策略需控制措施量 M_p 。

2.3 重要用户失压风险监控

大型城市党政机关、交通枢纽、学校、医院、商场、社区等配套设施较为集中,普遍具有人口密度大、重要用户密集的特点,对安全可靠供电的要求更高,对停电的容忍度极低,一旦发生停电事故,后果不堪设想,极有可能造成重要用户失压的风险。

本功能主要设计以下两部分内容。

1) 评估稳控装置切负荷对供电用户造成的失压风险。输入数据包括:稳控系统实时数据、当值策略控制措施、低频低压减载量统计结果、供电用户与负荷线路关系数据库等,通过对稳控装置切除负荷线路关联的重要用户进行拓扑分析,统计可能影响或造成失压的各级重要用户数。重要用户受影响和失压的判定逻辑为:①对单路供电的用户,如果线路或者变压器都被切除,则认为该用户失压;②对于多路供电的用户,如果全部线路或者变压器被切除,则认为该用户失压;如果仅部分线路或者变压器被切除,则认为该用户受影响。为突出重点,兼顾功能实用

性,本功能支持设置关注受影响或可能造成失压的最低等级。

2)提出规避或降低供电用户失压风险的措施。以失压用户级别来表征事故的严重程度,失压用户级别越高,表示事故越严重。当稳控系统切除负荷后存在供电用户尤其是重要用户失压风险时,则需要采取预防控制手段来规避该风险或降低该风险的危害性,但必须保证稳控系统的可控制措施量足够。控制措施主要包括:①调整待控负荷线路的优先级,将切除元件转移至与重要用户无关或更低等级供电用户的负荷线路;②退出存在失压风险的重要用户关联的负荷线路允切或功能压板,使之退出当值策略可控制措施空间,但同时需要投入其他与重要用户无关或低等级供电用户的负荷线路允切或功能压板,保证当值策略可控措施总量满足策略表要求。

2.4 远程控制

随着变电站无人值守的普及,如何在调度系统实现对稳控系统装置的远程操作成了调度管理部门关注的重点^[17-18]。根据电网运行实际需求,远程操作内容一般包括:修改定值、投退软压板、切换定值区。通过此功能可以实现在调度系统侧根据电网运行方式需要,远方对装置运行定值进行调整,尤其适用于需要临时调整稳控装置运行定值,但由于自然条件限制无法实现快速就地操作的紧急情况,同时也可以为控制量不足辅助决策或切负荷风险控制措施提供实施手段。本功能前提是要保证操作的安全性和可靠性,为此本系统采取了以下措施。

- 1)引入双人操作监护机制,修改定值前进行操作权限和操作流程的审核。
 - 2)遵循数据召唤,预修改,返校确认,修改执行,结果返回的控制流程。
 - 3)整个过程完整记录操作人、操作时间、修改前后的值、操作结果等信息。
- 以远方修改稳控装置定值为例,具体的操作流程如图 2 所示。

3 工程应用

广州作为国内中心城市,是国家重要的经济、金融、贸易、交通、会展和航运中心。广州电网是南方电网交直流混联运行、西电东送的受端负荷中心之一,也是目前全国供电负荷密度最大的城市电网之一。中心城区覆盖了包括党政军、交通枢纽、传媒等重要用户以及大批商场、社区、人流密集区等重点关注用户,对安全可靠供电的要求更高。另外,广州电网自从广东电网分立后,全面接管广州电网范围稳控系统子站及执行站装置,迫切需要在调度自动化

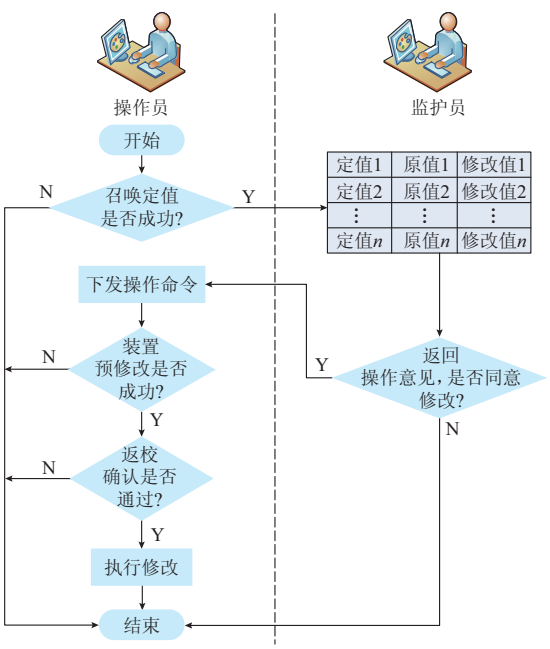


图 2 远方修改定值流程
Fig.2 Distance setting modification process

系统中实现对稳控系统运行状态集中监视以及切负荷风险监控。因此,本系统选择具有代表性的广州电网作为试点应用对象。

从系统结构上,广州稳控集中管理系统(简称本系统或系统)采用基于 OPEN-3000 统一支撑平台独立建设模式,主要考虑以下因素:①广州电网 EMS 处于更新换代期;②新系统采用的支撑平台与现运行系统平台不同;③新系统项目尚处于筹备阶段,无法满足本系统的建设进度要求。根据电力系统安全防护要求^[19-22],系统安装在安全 I 区,采用 Linux 安全操作系统。通过本系统的建设与应用,填补了广州电网对于稳控系统及装置集中监视的空白。为解决本功能需要的数据源问题,本系统从 EMS 导入电网一次设备模型和第三道防线实时可切负荷量以及电网实时分区负荷总量,以补充稳控装置数据。

从系统功能上,广州稳控集中管理系统集数据采集、集中监视、运行管理、风险评估预警、辅助决策、远程控制于一体,致力于构建实时化、精细化、高可靠性的监视控制决策系统,为广州电网的安全、经济运行保驾护航。

系统于 2014 年上半年完成安装调试工作,已接入木棉控制子站稳控装置信息,目前处于试运行阶段。系统充分利用了广州电网集省调、地调自动化系统于一体的优势,引入了重要用户与负荷线路关系数据库,实现了将调度系统监视范围扩展到供电用户层面,为稳控系统切负荷风险监控功能的实施

提供了必要的数据条件。调度运行人员通过工作终端人机界面(包括图形和交互工具)从广州电网全局、各稳控系统、稳控站点 3 个层面对广州稳控系统全方位监控^[23]。系统结构如图 3 所示。

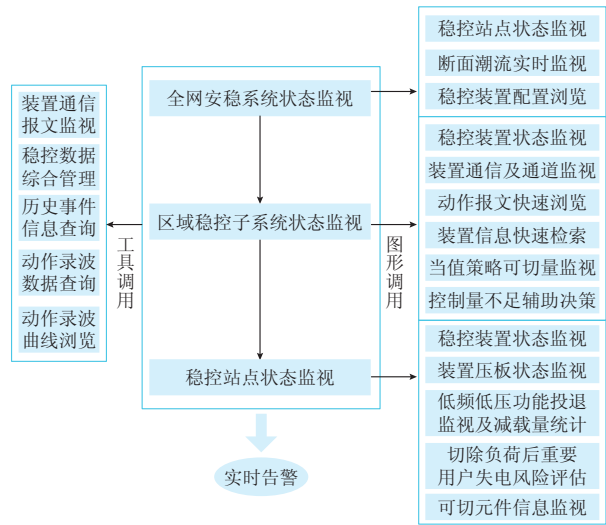


图 3 系统结构示意图
Fig.3 Schematic diagram of system structure

在试运行期间,系统能够正确反映木棉稳控装置的运行状态,为广州电网稳控系统的正常运行提供坚强的技术保障。本系统在广州电网的实际应用情况如下。

1)实现对木棉稳控系统运行状态实时监控。如图 4 所示,可直观了解木棉子站与执行站装置的通道状态、装置运行状态等信息,并即时反映装置是否存在异常告警或动作事件,如木棉 B 套装置当前存在异常告警。可实时掌握稳控装置压板状态,以木棉 A 套装置为例,系统以现场装置压板布局绘制了压板监视图,见附录 A。

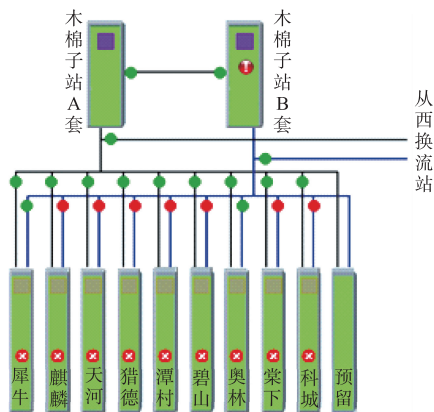


图 4 木棉稳控系统实时状态监视
Fig.4 Real-time state monitoring in Mumian stability control system

2)可实时了解木棉稳控系统的异常告警信息。例如:2014 年 9 月 11 日凌晨,从木甲线检修,木棉 A 套、B 套装置从木甲线检修压板依次投入,线路状态变为停运(0),见附录 B。

3)可即时获取稳控系统动作报告及录波数据文件等,用于事故后分析。如 2014 年 7 月 23 日 11 时 8 分,由于 220 kV 木村甲乙线双回故障同时跳闸,触发木棉稳控系统动作,切除 220 kV 潭村站、猎德站及天河站部分负荷,避免了 220 kV 麒天甲乙线过载跳闸造成的中心城区大面积停电事故。事后分析人员从本系统提取即时保存的动作录波数据,为事故分析及 BPA 仿真计算提供了准确的运行数据,显著提高了事故分析效率及分析结果的准确性。

4)临时调整装置运行定值更便捷。2014 年 8 月 12 日,由于 500 kV 木棉站 3 号主变压器出现缺陷待处理,为确保在缺陷处理完毕前主变压器不过负荷运行,需紧急调整 500 kV 木棉站稳控装置中的 3 号主变压器的过载动作定值。调度员使用本系统的远程控制功能,将 500 kV 木棉站稳控装置中的 3 号主变压器过载动作电流定值从 1 540 A 调整为 1 150 A、动作功率定值从 1 185 MW 调整为 950 MW,有效保证了稳控系统(装置)在特殊或临时运行方式下满足电网安全稳定运行的要求。

试运行情况表明,本系统实现了广州电网稳控系统“异常状态有告警、危险状态有预警、紧急情况有报告、决策处理有依据、远程控制有手段”的目标,为稳控系统集中管理提供了智能化手段。不足的是,目前系统仅接入了木棉子站稳控装置,信息量较少,部分应用功能无法得到实际应用和体现,后期将结合稳控系统改造计划陆续接入其他的稳控装置,以丰富系统数据信息量,提高相关功能的应用程度,更好地服务于广州电网。

4 结语

本文提出的安全稳定控制装置切负荷风险监控系列功能紧密结合了大型城市电网的实际应用需求,充分利用了大型城市电网的数据资源优势,是对现有稳控集中管理系统应用功能的有力补充。在试点应用中,基本实现了稳控装置切负荷风险监控系列功能:提出了一种在线统计低频低压减载量统计方法;通过在调度侧建立稳控系统策略模型实现了稳控系统当值策略在线识别及可实施性评估以及控制量不足情况下的辅助决策支持;通过建立负荷线路与重要用户的关系数据库,实现了稳控系统切负荷重要用户失压风险评估功能;通过远程控制技术可以及时消除电网运行中存在的安全隐患和潜在风

险,以提高电网安全运行裕度,提高城市电网供电可靠性。

在实际应用过程中也发现了本系统功能设计中存在的不足和进一步完善的空间,主要表现在以下方面:①如何在调度系统侧解决一次设备名称命名不统一的问题;②如何自动搜索降低或消除切负荷风险的辅助决策措施;③如何综合利用状态估计断面数据开展反馈型稳控策略可实施性评估及辅助决策支持;④如何结合国务院 599 号条例及《南方电网电力事故(事件)调查规程》,开展稳控系统切除负荷后事故等级风险评估。

本文得到了广州供电局有限公司科技项目“基于复杂故障阻隔技术的中心城市电网三道防线协调优化研究及可视化智能监控平台实现”的资助,谨此致谢!

参考文献

[1] 中华人民共和国国务院.第 599 号令:电力安全事故应急处置和调查处理条例[S].2011.

[2] 刘志,王静,祁忠,等.RCS-9012 稳控集中管理系统[J].电力系统自动化,2008,32(11):89-92.

LIU Zhi, WANG Jing, QI Zhong, et al. RCS-9012 integration management system of stability control system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(11): 89-92.

[3] 付小标.安全稳定控制集中管理系统初步设计与研究[D].杭州:浙江大学,2004.

[4] 孙光辉,沈国荣.加强三道防线建设确保电网的安全稳定运行[J].江苏电机工程,2004,23(5):4-7.

SUN Guanghui, SHEN Guorong. Enhance three defense plan for the stability of power system [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2004, 23(5): 4-7.

[5] 吴国炳,王阳,杨银国,等.安全稳定控制系统管理主站的功能设计与开发[J].电力系统自动化,2012,36(10):118-122.

WU Guobing, WANG Yang, YANG Yinguo, et al. Management station design and development of security-stability control system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(10): 118-122.

[6] 刘志超,承文新,黄俊.电网继电保护及故障信息管理系统的实现[J].电力系统自动化,2003,27(1):72-75.

LIU Zhichao, CHENG Wenxin, HUANG Jun. Implementation of management information system for protective relaying and fault recorder[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(1): 72-75.

[7] 李晶,蔡莹,王珂,等.低频低压切负荷总量的分析方法和系统:中国,CN104242316A[P].2014-12-24.

[8] 庞晓艳,陈苑文,梁汉泉,等.二滩电站安全稳定控制系统策略表的设计与实现[J].电力系统自动化,2001,25(18):37-40.

PANG Xiaoyan, CHEN Yuanwen, LIANG Hanquan, et al. Design and realization of the scheme list for Ertan power station security and stability control system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(18): 37-40.

[9] 李碧君,许剑冰,徐泰山,等.大电网安全稳定综合协调防御的工程应用[J].电力系统自动化,2008,32(6):25-30.

LI Bijun, XU Jianbing, XU Taishan, et al. Engineering application of integrated and coordinated defense technology of large power system security and stability [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(6): 25-30.

[10] 李碧君,徐泰山,薛禹胜,等.大电网安全稳定综合协调防御的工程设计方法[J].电力系统自动化,2009,33(23):90-93.

LI Bijun, XU Taishan, XUE Yusheng, et al. Engineering design method of integrated and coordinated defense technology of large power system security and stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(23): 90-93.

[11] 徐泰山,许剑冰,鲍颜红,等.互联网网预防控制和紧急控制在在线预决策系统[J].电力系统自动化,2006,30(7):1-4.

XU Taishan, XU Jianbing, BAO Yanhong, et al. On-line pre-decision based preventive and emergency control system for interconnected power grids[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(7): 1-4.

[12] 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 Yusheng. Space-time cooperative framework for defending blackouts: Part I from isolate defense lines to coordinated defending [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 8-16.

[13] 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 Yusheng. 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.

[14] 方勇杰.用紧急控制降低由输电断面开断引发系统崩溃的风险:对印度大停电事故的思考[J].电力系统自动化,2013, 37(4):1-6.

FANG Yongjie. Application of emergency control to reduce risk of system collapse triggered by power transmission interface tripping: thinking on the India power blackouts[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(4): 1-6.

[15] 汪马翔,许剑冰,徐泰山,等.基于结构化模型驱动的稳控装置动作模拟仿真方法[J].东南大学学报(自然科学版),2011, 41(增刊 1):74-78.

WANG Maxiang, XU Jianbing, XU Taishan, et al. Simulation method of security-stability-control-device base on structural model driven[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2011, 41(Supplement 1): 74-78.

[16] 赵燕,张文朝,李铁群,等.电力系统通用安控策略整定方法的研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(4):102-107.

ZHAO Yan, ZHANG Wenchao, LI Yiqun, et al. Research on the general control strategy of power system tuning method [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(4): 102-107.

[17] 金芬兰,王昊,范广民,等.智能电网调度控制系统的变电站集中监控功能设计[J].电力系统自动化,2015,39(1):241-247. DOI:10.7500/AEPS20141009023.

JIN Fenlan, WANG Hao, FAN Guangmin, et al. Design of centralized substation monitoring functions for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 241-247. DOI: 10.7500/AEPS20141009023.

[18] 李耐心,季国华.无人值班变电站管理模式的探讨[J].华北电力技术,2009(增刊 1):131-133.

- LI Naixin, JI Guohua. Discussion of non-attended substation managing model [J]. North China Electric Power, 2009(Supplement 1): 131-133.
- [19] 段斌,王键.变电站自动化信息交换安全认证体系[J].电力系统自动化,2005,29(9):55-59.
- DUAN Bin, WANG Jian. Security authentication system of substation automation information exchange[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(9): 55-59.
- [20] 王益民,辛耀中,向力,等.调度自动化系统及数据网络的安全防护[J].电力系统自动化,2001,25(21):5-8.
- WANG Yimin, XIN Yaozhong, XIANG Li, et al. Security and protection of dispatching automation systems and digital networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(21): 5-8.
- [21] 国家电力监管委员会.电力二次系统安全防护规定[S].2005.
- [22] 国家电力监管委员会.电力二次系统安全防护总体方案[S].2006.
- [23] 徐泰山,汪际锋,余文杰,等.电力系统第二道安全防线在线监视的可视化实现方法:中国,201210126301.X[P].2012-08-08.

王 斐(1974—),男,硕士,工程师,主要研究方向:电力系统调度运行控制管理。E-mail: gzddwangfei@163.com

沈凤杰(1983—),男,通信作者,工程师,主要研究方向:电力系统安全稳定分析与控制。E-mail: shenfengjie@sgepri.sgcc.com.cn

李 晶(1985—),女,硕士,工程师,主要研究方向:电力系统安全稳定运行控制。E-mail: lijing319@gmail.com

(编辑 蔡静雯)

Design of Load Shedding Risk Monitoring Function for Security and Stability Control Devices in Power Grid of Large City

WANG Fei¹, SHEN Fengjie², LI Jing¹, CAI Ying¹, LIU Linling², WANG Ke¹

(1. Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou 510620, China;

2. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211006, China)

Abstract: According to the actual needs of important users in the power grid of large central city about power supply reliability, the state-of-the-art of the existing management system for security and stability control devices is analyzed. By using the resource advantage that the adjustable range of the existing management system covers low voltage users, a function design method of load shedding risk monitoring for security and stability control devices is proposed. Thus the application function of management system of security and stability control devices is extended from conventional monitoring management to on-line early warning of load shedding risks, decision-making support, and remote control. Finally, the actual application of the function in Guangzhou power grid is described.

Key words: power grid of large city; security and stability control device; load shedding; risk monitoring