

DOI: 10.7667/PSPC160456

## 省地两级电网紧急控制装置协同监控系统设计

沈凤杰<sup>1</sup>, 才洪全<sup>2</sup>, 徐洪涛<sup>2</sup>, 王阳<sup>1</sup>, 杨志刚<sup>3</sup>, 刘琳玲<sup>1</sup>

(1. 南瑞集团公司(国网电力科学研究院), 江苏 南京 211006; 2. 黑龙江省电力有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150090; 3. 国网大庆供电公司, 黑龙江 大庆 163458)

**摘要:** 在大电网新型运行管理模式下, 为满足省级、地级调度机构对紧急控制装置集中监控的需求, 充分借鉴了调控一体化系统建设已经取得的成果, 按照装置调管范围分层接入的原则提出了建设省地两级电网紧急控制装置协同监控系统的总体思路和基本框架。然后结合紧急控制装置特点和专业需求阐述了系统中数据采集、装置运行数据及状态监视、实时告警、运行管理、远方操作、数据纵向交互 6 个应用功能模块和实现方案。最后介绍了该系统在黑龙江和大庆两级电网中的实际应用情况。

**关键词:** 大电网; 调管模式; 省地两级电网; 紧急控制装置; 协同监控; 纵向交互

### Design of collaborative monitoring and control system for emergency control device used for province-district two-level power grid

SHEN Fengjie<sup>1</sup>, CAI Hongquan<sup>2</sup>, XU Hongtao<sup>2</sup>, WANG Yang<sup>1</sup>, YANG Zhigang<sup>3</sup>, LIU Linling<sup>1</sup>

(1. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211006, China; 2. Heilongjiang Electric Co., Ltd., Harbin 150090, China; 3. State Grid Daqing Electric Power Company, Daqing 163458, China)

**Abstract:** Under the new operation management mode of the large power grid, in order to meet the requirements of the centralized monitoring of emergency control device for provincial and district level dispatching agencies, this paper fully draws lessons from the achievements of the construction of the integrated system of regulation and control, puts forward the construction of provincial level power grid emergency control equipment monitoring system of the overall train of thought and basic framework of collaborative according to the dispatching management scope of device layered access principle. Then the application function module and implementation scheme are elaborated such as data acquisition, device data and status monitoring, real-time alarm, operation management, remote operation, data longitudinal interaction combining the characteristics of emergency control equipment and professional requirements. Lastly, the application of this system in Heilongjiang-daqing two-level power grid is introduced.

This work is supported by State Grid Corporation of China Project "Power System and Related External Information Interactive Influence Analysis and Application Function Design".

**Key words:** large power grid; scheduling management mode; province-district two-level power grid; emergency control device; collaborative monitoring and control; vertical interaction

## 0 引言

国家电网公司于 2010 年公司两会提出了“三集五大”的概念, 其中“大运行”的重点工作之一就是调控一体化系统建设, 即在确保安全的基础上, 对现有电网调度和设备运行集控功能实施集约融合、

统一管理, 促进各级调度一体化运作, 完善相应的工作制度、业务流程、标准体系和技术手段<sup>[1]</sup>。从长期看, 调控一体化的实质是将原先分散在各变电站、集控中心的监视、控制功能等任务集中到调度中心来。随着近年来智能电网调度控制系统建设的大力推进, 一次设备集中监控的工作基本完成, 而紧急控制装置(即安全稳定控制装置, 以下简称“安控装置”)作为重要的二次设备, 也正在逐步开展集中监控相关工作<sup>[2]</sup>。与一次设备不同的是, 目前电

**基金项目:** 国家电网公司项目“电力系统与相关外部信息交互影响分析和应用功能设计”

网安控系统普遍采用“子站→执行站”或“主站→子站→执行站”组织结构,而安控系统内不同电压等级的安控装置可能归属不同级别的调度机构管辖,各级调度机构如何实现安控装置的集中监控是目前迫切需要解决的问题。近年来,国家电网已经形成国(分)、省、地(县)电网调度系统结构<sup>[1]</sup>,随着电网规模的不断扩大,电网设备调管权限正呈现逐步下放趋势,省地两级调度机构将承担越来越多的电网运行管理功能。传统的安控装置运行管理模式已不适应当前智能电网的发展趋势<sup>[3]</sup>,迫切需要对现有的运行管理模式进行研究,以建立适应智能电网发展的安控装置运行管理模式。本文以此为背景提出了省地两级电网紧急控制装置协同监控系统(简称“协同监控系统”)整体框架和应用功能设计方案,以实现分散装置的分层协同监控,更好地满足“大运行”体系建设相关要求。

## 1 概述

与省地两级电网调控一体化系统类似<sup>[4-6]</sup>,本文所述协同监控系统即在省、地两级调度中心建设安控装置在线监测及管理模块(简称“安控监测模块”),分别接入调度机构调管范围的安控装置信息,并通过调度自动化系统实现安控装置信息纵向贯通,达到分层接入、协同监控、统一管理的目的,以适应当前变电站无人值守化运行管理以及“大运行”体系建设相关要求。协同监控系统结构示意图如图 1 所示。

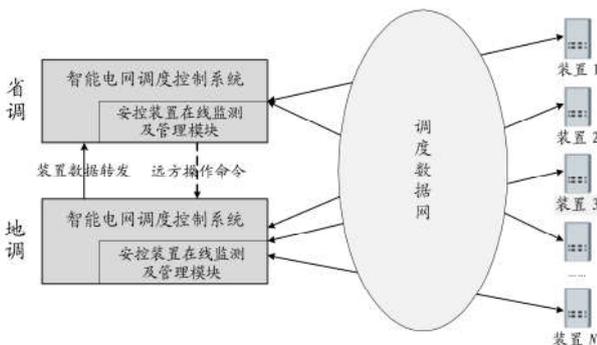


图 1 协同监控系统结构示意图

Fig. 1 Frame diagram of collaborative monitoring and control system

从图 1 中可以看出:在协同监控系统整体框架中,安装在调度中心的安控监测模块是核心,按照调管权限分层接入和安控装置信息纵向贯通是关键,智能电网调度控制系统是基础,调度数据网络是保障<sup>[7]</sup>。换言之,安控监测模块是协同监控系统的具体表现。

随着电网的持续发展和计算机技术的不断进步,安控在线监测技术经历了单机模式的安控装置集中管理系统、独立系统模式的安控装置集中管理系统以及一体化模式的安控在线监测及管理模块等多个阶段。从系统结构上看,标准化、可靠性、可扩展性越来越高;从系统功能上,已经从原来单纯的以实现安控装置状态监视为目的发展为集集中监视、实时告警、运行管理、在线控制、实时预警以及辅助决策等功能于一体的实时运行系统重要的应用模块,更关注安控装置的自动化、智能化管理以及对安控数据的挖掘和应用<sup>[8-11]</sup>。

## 2 系统设计

协同监控系统采用基于智能电网调度控制系统统一支撑平台的一体化设计建设方案,其硬件结构如图 2 所示。

协同监控系统最大程度地复用了智能电网调度控制系统已有硬件设备,包括数据库服务器及存储设备、人机工作站、告警图形网关机、主网和数据网网络设备以及 III 区 Web 系统所有设备。在满足负载要求的情况下,图中前置采集服务器可以与 SCADA 采集服务器或与安控监控管理服务器合并。

另外,协同监控系统按照应用平台化的标准进行设计,充分利用了支撑平台的公共资源和服务,通过平台应用扩展的方式来实现安控装置的在线监测、管理与控制。

### 2.1 一体化支撑平台集成

协同监控系统充分应用支撑平台提供的各种标准公共应用和服务,努力做到应用模块平台化,主要包括以下几个方面。

1) 统一的设备模型:系统共用支撑平台统一维护的电网一次设备模型数据,包括分区、厂站、母线、发电机、变压器、交流线段、负荷以及直流系统相关模型数据表等。

2) 统一的数据服务:系统通过支撑平台提供的数据库访问 API 接口,完成平台实时库和历史库数据表的访问。

3) 统一的参数服务:系统充分使用涉及支撑平台公共部分的配置信息,如平台应用定义、用户权限设置、数据库访问配置参数等,避免配置重复和系统复杂化。

4) 统一的图形服务:系统使用平台提供的标准图形服务,能够实现系统中不同应用以及不同系统之间的图形共享,保持系统图形风格与平台一致;

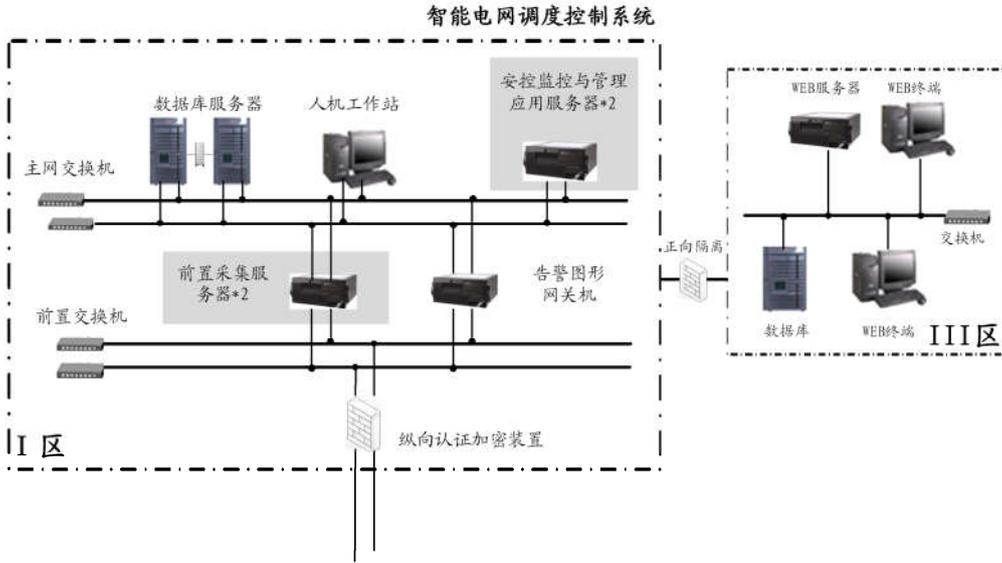


图 2 协同监控系统硬件结构图

Fig. 2 Hardware structure diagram of collaborative monitoring and control system

5) 统一的告警服务：系统利用平台提供的告警服务机制，自定义告警类型以及告警动作行为，当本系统或安控装置发生异常时提供实时、统一的告警提示。

6) 统一的曲线服务：系统利用平台提供的曲线工具实现对周期采样的装置模拟数据(电气量、断面功率、可切量等)进行查询、浏览。

7) 统一的 Web 服务：系统利用平台提供的 Web 机制实现安控装置运行数据及状态向 Web 系统实时发布,更好地满足运行方式人员的日常工作要求。

### 2.2 模块化应用功能设计

结合各级调度机构对于安控专业应用功能需求，协同监控系统的功能模块如图 3 所示。

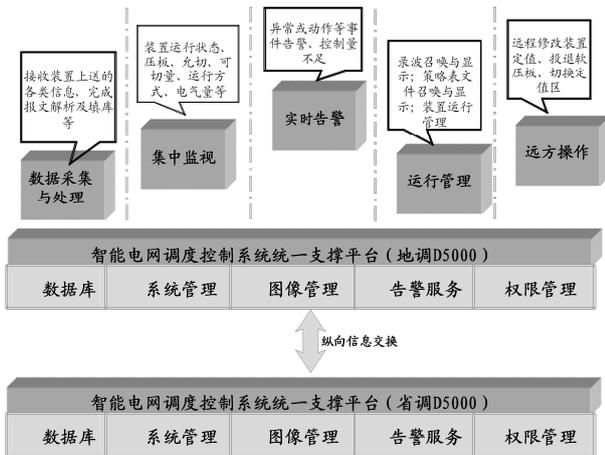


图 3 功能模块示意图

Fig. 3 Schematic diagram of function module

### 1) 数据采集

目前安控装置数据的采集方式有直采和集采两种。前者即安控装置直接通过调度数据网以约定的通信规约进行数据通信，该方式特点是结构简单，没有中间节点，数据传输可靠性较高；后者即安控装置通过站内监控系统进行数据通信，该方式特点是充分利用了调控一体化工作成果，复用其数据链路，但中间环节较多，一定程度影响数据传输可靠性<sup>[12]</sup>及效率。两种数据采集方式的流程示意图如图 4 所示。

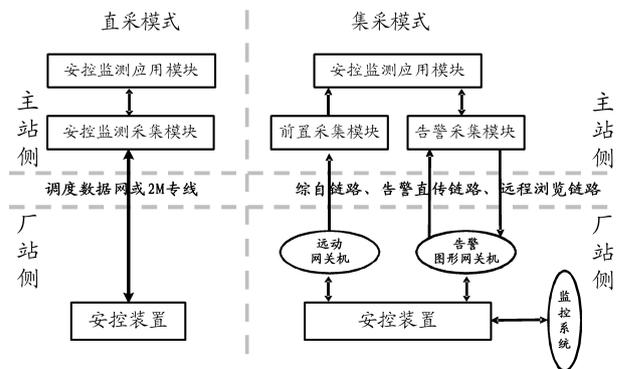


图 4 安控装置数据采集流程示意图

Fig. 4 Data collection flow diagram of safety and stability control device

直采模式下，安控装置数据采集以及监测应用功能全部由本系统实现；集采模式下，安控装置信息采集部分及其他与厂站侧相关的交互接口则由 D5000 平台的前置模块实现，本系统仅完成相关的

监测应用功能,同时响应使用者操作指令向 D5000 平台下发相关的召唤命令。

省地两级系统各自采集自身调管范围的安控装置信息,地调系统将需省调许可的装置信息通过调度数据网实时上送给省调系统,用于实时监视。

### 2) 装置数据及状态监视

实现对安控装置运行数据及状态集中监视是系统的基本功能,而安控装置的分布是离散的,采集的信息也只是和控制策略相关的,同时还包含了大量的静态数据(如定值、装置信息等),为了更好地满足调度监控人员的实际使用需求,系统采用了图形与人机界面工具相结合的数据展现方式,将这些数据分层次、有重点地呈现给使用者,同时带给使用者很好的人机交互体验<sup>[13]</sup>。

图形化方面主要是基于支撑平台统一图形服务,按照“全网-安控子系统-安控站点”图形架构(如图 5 所示)对接入安控装置重要的运行数据及状态进行集中、分层监视,主要包括装置运行状态、是否有异常、是否发生动作、与系统的通信状态、装置间通道状态、运行压板以及可切量等。

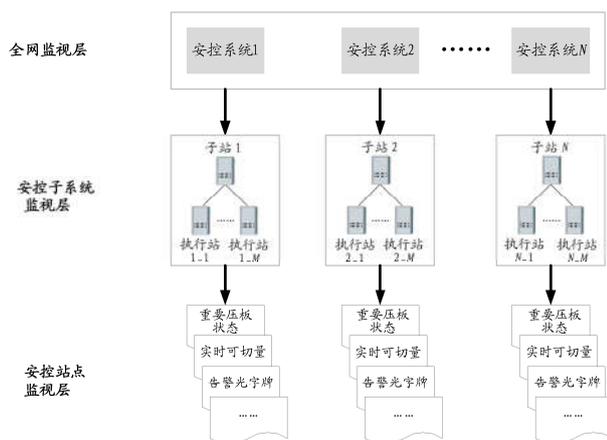


图 5 分层式图形界面架构

Fig. 5 Hierarchical graphical interface architecture

人机界面工具则主要以列表方式对安控装置全局数据进行展示,左侧会自动创建安控装置模型目录树,分为安控系统、安控站点、安控装置、数据项四级,便于快速定位装置信息。

### 3) 实时告警

告警是协同监控系统最基本的功能,目的是在安控装置发生异常或动作时,能够及时提醒调度运行人员关注。

在告警形式上,系统提供实时告警窗提示信息、图形上标注告警图元两种方式。前者基于支撑平台提供的告警服务机制,支持上告警窗、推画面、语

音告警等多种告警行为;后者基于平台图形服务,若某一装置发生异常,则该装置所属的安控系统、安控站点及其本体都会标注异常告警状态标识,方便使用人员由浅入深、由外入内地了解当前安控系统运行状态,定位到异常告警的安控装置时,可以通过右键菜单快速查询该装置所发生的详细异常信息。

为了指导调度运行人员快速消除异常告警,系统提供了匹配异常特征知识库和调阅运行管理电子文档两种异常处理指导办法。前者是采用领域专家和知识库工程师相配合的人工方式提炼总结装置异常象征、异常类型、异常原因及相互关系等知识,依据合适的规则构成知识库。系统根据装置出现的具体异常象征,以及知识库中的相关规则检索知识库,若发现有一致性的数据记录,则激活该条规则记录,提供异常处理方法;后者是通过建立安控系统与电网运行管理规定的关联关系,当装置发生异常时,直接通过画面操作调取该装置对应的运行管理规定电子文件,以获取相关异常的处理指导方法。

### 4) 运行管理

安控装置具有覆盖率高、位置分散的特点,建设重点也偏向于控制策略的实现,调度运行人员对安控系统的运行状态监视、远程维护、管理和数据的共享、动作的分析等都缺乏有效手段,当安控系统动作时,调度及安控系统管理工程师只能依靠变电站人员口头汇报或者打印的报告来了解系统的动作情况,无法及时得到整个系统的动作分析、事故前系统运行方式、故障波形等信息。基于这些实际的安控专业需求,系统设计开发了安控装置运行管理相关功能,包括召唤定值、定值巡检比对、召唤动作录波数据及录波曲线显示、历史数据存储及查询等。

### 5) 远方操作

随着变电站无人值守化进程的不断推进<sup>[14]</sup>,如何快速处置安控装置异常以及紧急故障成为了运行管理部门关注的重点,尤其对于地理环境复杂或是气候条件恶劣的地区就显得格外困难。故障处理不及时就有可能引发更大的连锁事故,从而造成重大损失。因此系统设计了远方操作安控装置的功能,也是协同监控系统的主要功能之一,目的就是降低装置维护成本,提高运行效率、避免事故范围进一步扩大。远方操作的内容主要包括修改定值、投退功能软压板、切换定值区 3 大类。

远方操作首要要求就是可靠、安全<sup>[15-16]</sup>,根据《继电保护和自动装置远方操作技术规范》等

相关要求,系统提出了相关的安全措施,包括以下几点。

(1) 双确认机制<sup>[17]</sup>:系统远方操作装置时,至少应有两个状态发生对应变化,且所有这些确定的状态均已同时发生对应变化才能确认本次操作到位。

(2) 双人操作监护机制:远方操作时采用操作员+监护员双人模式,严格进行操作权限和操作流程的审核确认。

(3) 预修改机制:整个远方操作过程遵循数据召唤、预修改、返校确认、修改执行、结果返回的控制流程。

(4) 可追溯机制:完整记录远方操作过程中所有操作人、操作时间、修改前后的值、操作结果等信息。

在协同监控系统框架中,各级系统只能远方操作自身调管范围内的安控装置,对于属于地调调管但需要省调许可的安控装置,则需要由省调通过相关的管理渠道(包括电话、信息管理系统等)下达操作命令,由地调负责实施。

### 6) 安控数据纵向交互

协同监控系统的特点主要体现在省地两级系统间的安控数据纵向交互上。从安控装置管理需求来看,省调运行人员一般需要了解区域安控系统整体运行状态,而地调运行人员则仅需侧重关注自身调管的装置状态,按照“谁调管、谁接入”的原则接入相应的安控装置信息后,地调系统还需要通过调度数据网向省调系统转发其所接入的装置信息,即地调系统监视的安控装置范围是省调监视范围的子集。

安控数据纵向交互包括装置模型及实测数据两部分。装置模型指安控装置名称、IP地址、所属站点、所属安控系统、组标题及点表描述等静态信息,采用增量更新的方式,即只有地调系统检测到装置模型有变化才会通知省调侧同步更新;实测数据指安控装置实际采集的信息,包括电气量、开入状态、定值、压板状态等,一般采用同步更新的方式,即地调系统接收到安控装置上送的数据及状态后,同时将省调系统转发刷新。

## 2.3 安全防护措施

本系统安装部署在实时控制区<sup>[15-16,18]</sup>,需满足安全、可靠等基本要求,本系统采取的措施具体包括以下几点。

1) 根据电力二次系统安全防护规定的要求,协同监控系统主应用功能部署在安全 I 区,Web 功能部署在安全 III 区,满足横向隔离和纵向认证的要求。

2) 系统通过正向隔离装置向 Web 服务器实时发布安控实时数据信息,外部系统无法直接调用系统数据。

3) 系统基于支撑平台权限管理服务,用户密码采用加密方式存储,保证数据信息的安全;同时采用主备双机冗余设计,提高系统运行可靠性。

4) 系统采集服务器设置路由,建立装置 IP 地址白名单,只与 IP 地址白名单中的装置建立 TCP 链接。

## 3 工程应用

黑龙江处于我国最东北端,地广人稀、冰雪等恶劣天气较多,对于无人值守变电站迫切需要在调度系统内具备安控装置集中监视与远程控制的能力。国电南瑞联合黑龙江省电力调度控制中心(简称“龙江省调”)开展了安控装置在线协同监控系统的研究与试点建设,即在黑龙江省调建立安控装置监控管理主站、大庆地调建立安控装置监控管理分站,以大庆地区安控系统作为试点区域,构建省地两级电网安全稳定控制装置协同监控系统框架。系统结构图如图 6 所示。

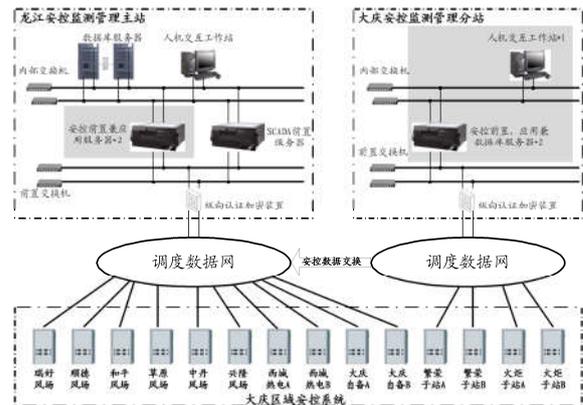


图 6 龙江-大庆省地协同监控系统结构图

Fig. 6 Structure diagram of Heilongjiang-Daqing system

图中,灰色填充的设备为本项目配套新增设置,其余均复用智能电网调度控制系统原有设备。省调主站系统基于智能电网调度控制系统(D5000)一体化建设,增配了 2 台服务器,用于安控数据采集与应用;地调分站系统由于暂未实施智能电网调度控制系统,故采用基于 OPEN-3000 支撑平台建设,配置了 2 台服务器,用于数据采集与应用,同时兼做数据库服务器,另配置 1 台运行维护工作站,用于系统维护和监控。大庆安控系统包括繁荣、火炬 2 个子站(双套配置),瑞好、顺德、和平、草原、中丹、兴隆 6 个风电场(单套配置),西城热电厂、大庆自备厂 2 个火电厂(双套配置)。其中 2 个子站归地调调管,其余归省调调管。按照“谁调管谁接入”原则,繁荣、火炬 2 个子站共计 4 套装置接入地调分站系统,风场及电厂装置共计 10 套装置接入省调

主站系统, 地调分站系统通过调度数据网将子站装置信息转发给省调主站系统, 从而省调可以监视大庆安控系统所有装置运行数据及状态, 直接对风场和电厂装置实施远方操作, 地调可以实时监视 2 个子站装置运行数据和状态, 按照省调指示实施远方操作。(注: 图中绘制了 2 个调度数据网是为了区分装置接入系统, 实质是 1 个调度数据网)

该项目遵循了“分层分区, 逐层细化”的原则, 基于智能电网调度控制系统一体化构建了省地两级电网安全自动装置运行集中监控功能, 实现了龙江电网安控装置分层接入、协同监视、统一调控框架建设, 将为变电站无人值守化提供强有力的技术支撑。根据规划, 后期将陆续建设其他地调分站系统, 最终实现黑龙江全网安控装置协同监控。

#### 4 结语

本文设计的省地两级电网紧急控制装置协同监控系统紧密结合了“大运行”体系建设的相关工作要求和变电站无人值守化的发展趋势, 紧扣调度运行人员对于安控装置专业的实际需求, 充分利用了智能电网调度控制系统的支撑平台, 提出了“谁调管、谁接入”的信息分层接入原则, 通过调度系统间的安控装置信息纵向交换和管理手段, 实现了省地两级电网安控装置协同监视与控制, 是对电网二次设备在线监测及管理的有力补充。与传统安控装置运行管理模式相比, 省地协同监控管理模式更能适应未来电网发展要求, 也可以进一步衍生为国(分)省协同监控系统。

随着我国智能电网的深入发展和“大运行”体系建设的持续推进, 已经全面建成国(分)省级智能电网调度控制系统体系, 地级智能电网调度控制系统建设工作也在全面铺开, 同时智能变电站陆续投入运行, 这些都为建设省地协同监控系统创造了有利的环境。为了能更好地满足调度运行管理实际要求, 在实际的工程建设时, 还需要重点解决以下问题。(1) 调度系统中低电压等级一次设备建模问题: 对于切负荷措施的装置来说, 一般切除的负荷电压等级在 110 kV 及以下电压等级, 而省级调度系统中电网一次设备模型一般在 220 kV 及以上, 从而影响安控装置采集的元件数据与调度系统间的映射。(2) 安控装置标准化: 由于各电网特点不一, 面临的安全稳定问题差异较大, 导致装置定制化程度较高, 在通信规约、一次设备命名等方面存在一定的差异, 不利于后期调度系统应用模块对于安控数据的挖掘和利用。(3) 管理模式: 需要明确调度各部门的职责

与权限, 包括系统日常的运行维护以及系统使用时调度和运行部门的职责分工, 在双人操作监护、省地协同监控等环节需要制定相应的规章制度来保证系统使用的规范性、安全性。另外在省级以上系统中, 还可以进一步研究安控数据的挖掘和利用, 系统采集的安控装置状态及部分运行数据是以前调度系统无法获取的, 比如压板状态、通道状态、实时可切量、定值和控制策略等, 如何将这些重要数据信息加以处理和分析, 用于电网在线分析计算(如在线安全稳定分析、调度计划安全校核等), 以改善电网分析计算的准确性。

今后随着智能电网的不断发展, 省地两级电网安控装置协同监控系统的功能也将日趋完善、更加实用化, 也将逐步成为安控装置甚至二、三道防线安全自动装置运行管理的主要手段, 在促进专业管理由分散粗放向集中精益方式转变和电网安全稳定运行方面发挥更加重要的作用。

#### 参考文献

- [1] 吕洪波. 电网调控一体化运行管理模式研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.  
LÜ Hongbo. Integration of power grid dispatching and supervisory control in operation and management mode[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.
- [2] 畅广辉, 镐俊杰, 刘宝江, 等. 电网调控信息智能分级采集系统的研究与开发[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 115-120.  
CHANG Guanghui, HAO Junjie, LIU Baojiang, et al. Research and development of intelligent and classified collection system for electric power dispatching and control information[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 115-120.
- [3] 赵燕, 张文朝, 李轶群, 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.
- [4] 赵家庆, 季侃, 孙大雁, 等. 电网调度省地一体化试点工程关键技术方案[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 120-125.  
ZHAO Jiaqing, JI Kan, SUN Dayan, et al. A key technology scheme of pilot projects for provincial and local integrated power grid dispatch[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(23): 120-125.
- [5] 杜贵和, 王正风. 智能电网调度一体化设计与研究[J].

电力系统保护与控制, 2010, 38(15): 127-131.  
 DU Guihe, WANG Zhengfeng. Design and research on power network dispatching integration of smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(15): 127-131.

[6] 赵亮, 钱玉春. 适应集约化管理的地区电网调度集控一体化建设思路[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(14): 96-99.  
 ZHAO Liang, QIAN Yuchun. Integrative construction of regional grid dispatch and control center for intensive management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(14): 96-99.

[7] 周雅. 智能化电力调度数据专网建设方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 133-137.  
 ZHOU Ya. Analysis on intelligent construction scheme for power dispatching data network[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 133-137.

[8] 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.

[9] 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.  
 FU Xiaobiao. Design and study of centralized control and management system of safety and stability[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.

[10] 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.

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

[12] 李俊刚, 张爱民, 张杭, 等. 广域保护系统数据网络可靠性评估[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 344-350.  
 LI Jungang, ZHANG Aimin, ZHANG Hang, et al. Reliability evaluation of the wide area protect system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 344-350.

[13] 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.  
 XU Taishan, WANG Jifeng, YU Wenjie, et al. Visual realization method for online monitoring of second security line of electric power system: China, 201210126301.X[P]. 2012-08-08.

[14] 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(S1): 131-133.

[15] 国家电力监管委员会. 电力二次系统安全防护规定[S]. 2005.  
 State Electricity Regulatory Commission. Provisions on the safety protection of the two power system[S]. 2005.

[16] 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.  
 State Electricity Regulatory Commission. General scheme of safety protection for two power system of electric power system[S]. 2006.

[17] 刘必晶, 徐海利, 林静怀, 等. 远动遥控的双校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 134-138.  
 LIU Bijing, XU Haili, LIN Jinghuai, et al. Research on double check method of remote security check[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(8): 134-138.

[18] 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.

收稿日期: 2016-04-01; 修回日期: 2016-06-21

作者简介:

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

才洪全(1961-), 男, 本科, 研究员级高级工程师, 长期从事电网运行及管理工作; E-mail: caihq@hl.sgcc.com.cn

徐洪涛(1971-), 男, 本科, 高级工程师, 从事电网运行工作。E-mail: xuht@hl.sgcc.com.cn

(编辑 葛艳娜)