

DOI: 10.7667/PSPC152163

基于D5000系统的变电站综自调试试验系统方案与问题分析

王晓蔚¹, 习新魁², 胡文平¹, 杨立波², 梁宾¹, 李均强¹

(1. 国网河北省电力公司电力科学研究院, 河北 石家庄 050021; 2. 国网河北省电力公司, 河北 石家庄 050021)

摘要: 开发了一种基于智能电网调度控制系统的变电站综自调试试验环境, 该试验环境包括基于智能电网调度控制系统的省调主站模拟系统和变电站自动化模拟系统。并研发了厂站端各种自动化设备的投运前评估检测调试试验方法及在运自动化设备的定期巡视与检测调试试验方法, 介绍了3个实例: 远动机报文卡顿问题测试、远动机丢遥信信号问题测试、远动机频繁丢失事故总 SOE 信号问题测试。搭建变电站自动化设备调试试验环境, 实现了厂站端自动化设备及软件检测测试及故障诊断等功能, 为变电站自动化设备和软件符合性测试及投运前检测提供可量化的评估手段。

关键词: 智能电网调度控制系统; 远动; 测控; 自动化设备; 测试

Development of test technology for integrated automation system in substation based on D5000 smart grid operation supporting system

WANG Xiaowei¹, XI Xinkui², HU Wenping¹, YANG Libo², LIANG Bin¹, LI Junqiang¹

(1. State Grid Hebei Electric Power Research Institute, Shijiazhuang 050021, China;

2. State Grid Hebei Electric Power Company, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: The test technology for integrated automation system in substation based on smart grid operation supporting system is developed. The test system includes the provincial master simulation system and substation automation simulation system based on smart grid operation supporting system. The test and assessment before operation of all kinds of automation equipment in substation and the regular inspection of running automation equipment are researched. Three examples are introduced, which includes the test of RTU message slack, telesignalling signal loss and the frequent loss of total accident signal SOE. The test and fault diagnosis of the automation equipment and software in substation are realized by building a test environment for the provincial master simulation system and substation automation simulation system. And the test system has provided quantifiable assessment tools for the test and fault diagnosis.

Key words: smart grid operation supporting system; RTU; monitoring and control devices; automation equipment; test

0 引言

调度自动化模拟测试系统建设研发是电网调度自动化系统以及无人值班变电站监控系统稳定、可靠运行的重要保证。开发基于 D5000 系统的变电站综自调试试验环境, 搭建基于模拟省调主站 D5000 系统及模拟厂站综自系统的变电站综自调试试验环境, 能够针对实际生产需要开展相关设备和软件的测试验证, 为变电站综自设备和软件符合性测试及投运前检测提供可量化的评估手段。基于 D5000 系统的变电站综自调试试验功能研发对及早发现变电站综自设备和软件的安全隐患, 提高电网调度自动化系统的运行可靠性有积极的指导意义^[1-8]。

1 基于 D5000 系统的变电站综自调试试验环境的搭建

基于 D5000 系统的变电站综自调试试验环境包括省调度主站模拟系统和变电站自动化模拟系统。根据国网公司和河北公司的有关规定, 针对 110 kV 及以上变电站对时装置、远动通信装置等自动化设备提出变电站自动化新设备入网检测和在运设备定期巡检方案。通过搭建基于智能电网调度控制系统的变电站自动化设备调试试验环境, 变电站自动化设备可与智能电网调度控制系统主站系统建立 101、104 规约通信, 对变电站自动化设备在运行中出现的问题进行重演。系统总体物理架构如图 1 所示。

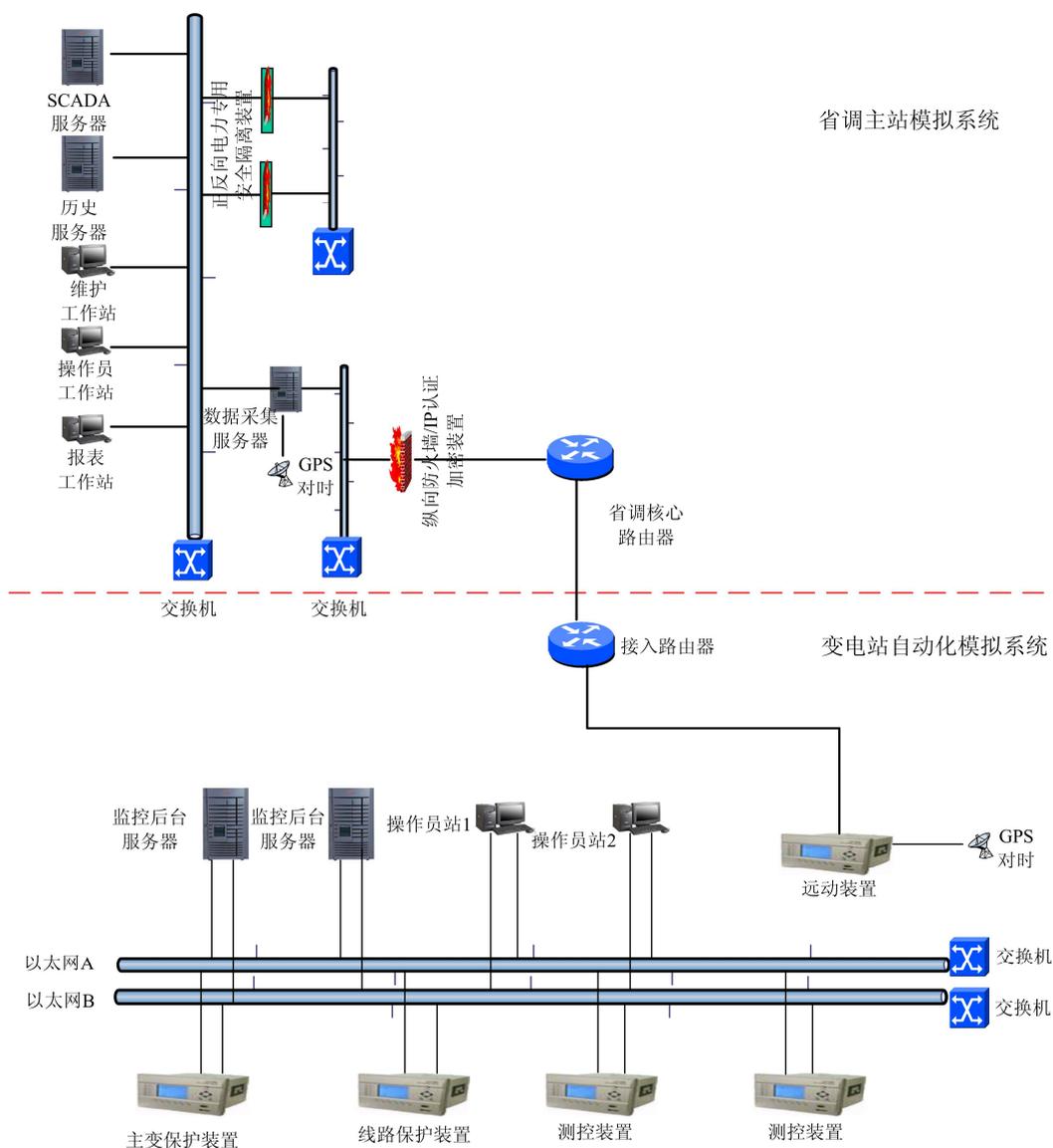


图1 系统总体物理架构图

Fig. 1 Overall physical architecture diagram

基于智能电网调度控制系统的省调度主站模拟系统具备省调主站的典型构造和基础功能, 可通过 RS-232 数字接口和 10M/100M 以太网接口(RJ45)和变电站自动化设备进行 101、104 规约通信, 对变电站自动化设备进行遥控、遥调操作, 并可关联对应的遥信、遥测点, 获取关联点的状态或值的信息, 能为变电站自动化设备测试和验收提供主站功能支持^[9-15]。

搭建变电站自动化模拟系统需要的基础设备主要包括后台部分、测控部分、保护部分、网络部分、对时部分和远动部分。后台部分是指后台监控系统需要配置两台服务器, 为主备配置。每一台服务器使用双网连接到交换机上。服务器本身可以作为操作员站使用, 用于处理站内信息并将其及时反映到

显示屏上, 同时可以用来操作员对站内开关刀闸等设备进行遥控操作。测控部分主要实现遥测、遥信和遥控三遥功能, 由测控装置和规约转换器构成。可以配置 4 台测控装置(用于高压测控功能), 1 台用于线路测控、1 台用于母线测控、2 台用于主变测控。另外配置 1 台测控装置用于实现低压出线测控保护功能。装置通过电缆与一次设备连接, 通过网络与后台和远动系统连接。1 台总控作为规约转换器(用来与保护装置通信)。测控装置可以采用 B 码对时或脉冲对时方式进行对时。保护部分主要对高压元件如主变和高压线路进行保护, 可以采用使用 1 台主变保护和 1 台线路保护装置。该装置可与规约转换器通过串口或网口通信把软报文信息上传给后台系

统进行显示。保护部分的保护装置接入综自系统，需要通过规约转换器。后者将前者的保护报文解析，转换成网络 103 报文传给服务器，服务器经过处理后将动作和告警信息显示在画面上。网络部分主要是指用来组建系统网络的交换机设备。站内设备要进行信息的交换，需要将他们进行组网。测控、服务器、远动装置、规约转换器等通过标准网线接入交换机，采用 A、B 双网配置。保护装置、直流屏等智能设备可以通过 485 串口或网口接入规约转换器。对时部分用来对系统的各种设备进行对时，要求同时具备 GPS 和北斗对时信号接收功能，并能输出 B 码、报文和脉冲等多种对时方式，一般由 1 台主机和 1 台扩展箱组成。对时主机可以通过报文方式给总控和后台系统对时，扩展箱可以通过脉冲或 B 码给测控和保护装置对时。远动部分用来将变电站数据通过远动规约上送给调度，可以采用双机配合调制解调扩展机箱组成，支持模拟通道、数字通道和网络通道等各种通信方式。如果调度采用网络 104 规约，则还要根据需要配置交换机和路由器。远动部分负责将站内信息上送给调度并接受调度的遥控指令。远动支持 CDT、IEC101、IEC104 等各种规约^[16-23]。

2 基于 D5000 系统的变电站综自调试试验项目

2.1 雪崩试验

测试方案：利用模拟子站系统和主站通信，模拟子站发送遥信变位，观察主站画面显示时间及告警显示时间，模拟子站发送遥测越限，观察主站画面显示时间及告警显示时间，以测试应用软件性能。模拟子站配置单断面发送遥信个数、断面发送间隔、持续发送时间等，模拟雪崩测试，以测试主站系统承受压力的能力，在压力测试过程中，主站调画面，调曲线，做控制操作等，观察是否有延时停顿现场，雪崩结束后，检查主站告警里遥信变位的个数和模拟子站上送是否一致。在主站界面上逐一测试系统功能，例如上行数据解释、下行控制命令、越限、代路、计算等等，依据国网自动化标准规范和实用化验收指标。

2.2 调度自动化系统 IEC60870 标准通信规约测试研究

利用规约测试软件对主站 IEC60870 标准通信规约进行测试，事先配置好测试项目、测试权值、关键项及必测项、自动测试参数等测试方案，然后自动形成测试脚本，进行测试，测试过程中能动态

监视测试过程，翻译测试内容及每项通过情况，最后得出测试结论和测试明细，测试过程中报文可以回放追述，还可以逐条手动测试，用手动测试结果补充自动测试的结论。技术标准是 IEC60870 标准通信规约。

2.3 调度自动化相关产品准入质量测试及第三方软件测试

将调度自动化相关产品接入系统，例如天文钟、UPS、KVM 矩阵等等，测试功能运行是否正常，测试长时间运行是否正常，相关产品质量符合各技术规范书要求及行业标准。对于第三方软件测试采用专用软件测试工具，针对功能、性能、接口、稳定性等方面逐一测试，要满足调度自动化系统要求。

2.4 变电站自动化设备入网测试

主要开展各种自动化设备如测控、远动设备的遥测精度测试、遥信上传速度和分辨率的测试、各种规约测试等。测试标准有国家发布的有关自动装置的国家标准、国家电网(南方电网)及各地电力企业发布的企业标准等。使用仪器为电力行业公认且广泛使用的各种校验仪和测试仪。

3 远动机报文卡顿问题测试

河北某变电站远动装置曾出现过如下问题：某 50 万变电站报文出现卡顿的现象，省调主站收到 7 帧报文后出现大概 10 s 的等待。通过搭建基于智能电网调度控制系统系统的变电站自动化设备调试试验环境，变电站自动化设备可与智能电网调度控制系统主站系统建立 101、104 规约通信，对变电站自动化设备在运行中出现的问题进行重演。

远动装置运行程序后，观察远动装置上送到省调的报文，确定主站收到 7 帧报文后出现大概 10 s 的等待现象。在省调主站模拟系统抓住的卡顿报文如图 2 所示。

```

RECv at 2014-05-13 12:25:14.229
68 5d 58 00 02 00 0d 90 14 00 01 00 71 41 00 00 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80
RECv at 2014-05-13 12:25:14.240
68 5d 5a 00 02 00 0d 90 14 00 01 00 81 41 00 00 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
SEND at 2014-05-13 12:25:24.000
68 04 01 00 5c 00
RECv at 2014-05-13 12:25:24.028
68 5d 5c 00 02 00 0d 90 14 00 01 00 91 41 00 00 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 80
00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80 00 00 00 80

```

图 2 远动装置上送省调主站报文
Fig. 2 Message from RTU to provincial master station

远动装置抓住的报文及打印的信息如下。通过截取的报文可以看出, 总招过程卡顿, 每次 $gstSio104.k = 12$ 要等待 10 s 的超时, 然后收到一帧确认帧, 每次收到确认帧后, 未被确认的帧数 $gstSio104.k \neq 0$ 。

```

send kk = 11
68 2d 58 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 41 05 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
send kk = 12
68 2d 5a 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 61 05 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
recv: kk = 12
68 04 01 00 5c 00
gstSio104.k = 12
temp = 46
gstSio104.SendNo = 46
(gstSio104.k + temp - gstSio104.SendNo) = 12
gstSio104.k = 5
send kk = 1
68 2d 5c 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 81 05 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
通过分析远动装置的程序, 查出问题是远动装置的程序中 K 值计算错误, 导致出现报文卡顿, 更改程序后, 问题解决。远动机对 K 值处理后的报文信息如下。通过截取的报文可以看出, 总招过程很流畅, 每发 8 帧  $gstSio104.k = 8$  必收到一帧确认帧, 每次收到确认帧后, 未被确认的帧数为  $gstSio104.k = 0$ 。
send kk = 8
68 2d 60 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 c1 05 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
recv: kk = 8
68 04 01 00 60 00
gstSio104.k = 8
temp = 48
gstSio104.SendNo = 49
(gstSio104.k + temp - gstSio104.SendNo) = 7
gstSio104.k = 0
send kk = 1
68 2d 62 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 e1 05 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
send kk = 2

```

```

68 2d 64 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 01 06 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
send kk = 3
68 2d 66 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 21 06 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
send kk = 4
68 2d 68 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 41 06 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
send kk = 5
68 2d 6a 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 61 06 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
send kk = 6
68 2d 6c 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 81 06 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
send kk = 7
68 2d 6e 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 a1 06 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
send kk = 8
68 2d 70 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 c1 06 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
recv: kk = 8
68 04 01 00 70 00
gstSio104.k = 8
temp = 56
gstSio104.SendNo = 57
(gstSio104.k + temp - gstSio104.SendNo) = 7
gstSio104.k = 0
send kk = 1
68 2d 72 00 02 00 01 a0 14 00 01 00 e1 06 00 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80

```

4 远动机丢遥信信号问题测试

某 500 kV 站多次出现 500 kV 低压侧电容电抗器开关变位信号漏报。AVC 调节后, 遥测信息及时上送, 但遥信信息需等总召才能发送正确的遥信位置。在实验室搭建测试环境, 进行大数据测试, 即模拟大量变位遥信同时发生, 每次 4 300 个 SOE,

每天大约模拟产生十万个 SOE, 远动双机上送调度主站数据正常。在 10 月 24 日的一次测试中出现了一次备机丢失一个 SOE 的现象。针对该现象, 修改程序, 分别在 IXP425 接收网络数据侧和双口 RAM 发送数据侧、CPU 双口 RAM 接收数据侧和功能模块分发数据侧、104 模块接收到的数据侧添加监视手段, 继续进行大数据测试。在 10 月 28 日, 该现象又出现了一次。通过分析对比各程序输出的信息, 发现是双口 RAM 在传输时丢失了该 SOE。

远动机的站内数据是通过 IXP425 网卡接收处理后, 通过双口 RAM 发送到总控侧。以 SOE 为例, IXP425 网卡收到 SOE 后, 首先申请 SOE 的信号灯, 如果申请成功, 则将一定数量的 SOE 写到双方约定的区域, 然后释放信号灯; 总控 CPU 侧在每个循环时都会申请该信号灯, 如果申请成功, 则读取数据, 并清空数据区, 结束后释放该信号灯。信号灯是由硬件控制, 确保双方不同时读取数据区, 以保证数据正确。IXP425 侧程序是有需要才申请信号灯, 而 CPU 侧是一直尝试申请, 在实际实验中, 发现连续几天大数据不停读取时, 会出现 IXP425 侧偶然申请不到信号灯的情况。申请不到信号灯, 就无法将本次数据写到双口 RAM 数据区, 在这种情况下, 就会出现将本次数据丢失的可能。

在远动程序中修改 IXP425 程序, 在原逻辑的基础上, 增加了碰撞延时申请和一定时间内循环申请信号灯的机制, 用这两个机制来规避 IXP425 侧偶然申请失败的情况。

5 远动机频繁丢失事故总 SOE 信号问题测试

河北部分变电站某型号远动机频繁出现事故后缺少事故总信号动作 SOE 信号。在实验室搭建测试环境进行测试。测试型号为 CSC-320EW。测试用 3 台 CSI200E 测控装置, CSM320EW 1 台, 调试笔记本 4 台。将 CSI200E 的 13 个开入用线短接在一起, 然后留出一个公共端, 用公共端点正电, 保证所有的开入同时上送, 然后将 CSM320EW、CSI200E、以及 4 台测试笔记本同时接到交换机上, 3 台调试笔记本使用模拟主站软件监测报文, 1 台笔记本启后台监控系统。CSM320EW 启 3 个通道, 配置采用 500 kV 清苑站配置。用测控装置上预留的公共端点击正电。以大概 0.2 s 的速度点击, 点击 5 次。模拟主站接收报文出现丢信号现象。

经过测试查明原因为程序内核与转出之间匹配存在问题。(1) 在 `qrtu.c` 取到消息后, 所有的 SOE 信息都被缓存到 `soe_lib` 中, `soe_lib` 的缓存区为 512K, 当新产生的 SOE 信号量大时, 会溢出, 极

端情况会出现放满。(2) `q104n.c` 取 SOE 帧时, 每次都从 SOE 缓存区的起始位置搜索未上送的 SOE 信号, 这样会导致 SOE 上送慢, 另外还会导致旧的 SOE 长时间发不出去, 新的 SOE 立刻发送^[24-29]。

6 结语

目前, 河北南网新入网变电站自动化设备接入调度自动化系统的测试工作, 采用接入实际运行主站的方式进行。这种新设备、新技术在实际运行的系统上直接进行的方式, 安全风险较大。开发基于智能电网调度控制系统的变电站自动化设备调试试验系统, 研究厂站端各种自动化设备的投运前评估检测调试试验方法及在运自动化设备的定期巡视与检测调试试验方法, 能够针对实际生产需要开展相关自动化设备和软件的测试验证, 测试结果满足相关技术要求后方可投入实际运行。避免自动化设备直接投运或者在运自动化设备故障对调度自动化系统的稳定运行造成影响。同时, 使用该测试系统能对现运行的变电站自动化设备进行定期测试, 可及早发现隐患, 采取应对措施。基于智能电网调度控制系统的变电站自动化设备调试试验方法是电网调度自动化系统以及无人值班变电站监控系统稳定、可靠运行的重要保证。

参考文献

- [1] 翟明玉, 王瑾, 吴庆曦, 等. 电网调度广域分布式实时数据库系统体系架构和关键技术[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(2): 67-71.
ZHAI Mingyu, WANG Jin, WU Qingxi, et al. Architecture and key technologies of wide-area distributed real-time database system for power dispatching automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(2): 67-71.
- [2] 杨清波, 李立新, 李宇佳, 等. 智能电网调度控制系统试验验证技术[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 194-199.
YANG Qingbo, LI Lixin, LI Yujia, et al. Test and verification technology for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 194-199.
- [3] 常乃超, 张智刚, 卢强, 等. 智能电网调度控制系统新型应用架构设计[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 53-59.
CHANG Naichao, ZHANG Zhigang, LU Qiang, et al. A novel application architecture design for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 53-59.

- [4] 辛耀中, 石俊杰, 周京阳, 等. 智能电网调度控制系统现状与技术展望[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 2-8.
XIN Yaozhong, SHI Junjie, ZHOU Jingyang, et al. Technology development trends of smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 2-8.
- [5] 姚建国, 杨胜春, 单茂华. 面向未来互联网的调度技术支持系统架构思考[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 52-59.
YAO Jianguo, YANG Shengchun, SHAN Maohua. Reflections on operation supporting system architecture for future interconnected power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(21): 52-59.
- [6] 田芳, 黄彦浩, 史东宇, 等. 电力系统仿真分析技术的发展趋势[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(13): 2151-2163.
TIAN Fang, HUANG Yanhao, SHI Dongyu, et al. Developing trend of power system simulation and analysis technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(13): 2151-2163.
- [7] 张强, 张伯明, 李鹏. 智能电网调度控制架构和概念发展述评[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(12): 1-6.
ZHANG Qiang, ZHANG Boming, LI Peng. Review of structure and concept evolution of dispatch and control system for smart grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(12): 1-6.
- [8] 刘焕志, 胡剑锋, 李枫, 等. 变电站自动化仿真测试系统的设计和实现[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(9): 109-115.
LIU Huanzhi, HU Jianfeng, LI Feng, et al. Design and implementation of simulation test system for substation automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(9): 109-115.
- [9] 张伯明, 孙宏斌, 吴文传, 等. 智能电网控制中心技术的未来发展[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 21-28.
ZHANG Boming, SUN Hongbin, WU Wenchuan, et al. Future development of control center technologies for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 21-28.
- [10] 辛耀中, 米为民, 蒋国栋, 等. 基于 CIM/E 的电网调度中心应用模型信息共享方案[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(8): 1-5.
XIN Yaozhong, MI Weimin, JIANG Guodong, et al. Scheme of application model information sharing between control centers Based on CIM/E[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(8): 1-5.
- [11] 杨胜春, 汤必强, 姚建国, 等. 基于态势感知的电网自动智能调度架构及关键技术[J]. 电网技术, 2014, 38(1): 33-39.
YANG Shengchun, TANG Biqiang, YAO Jianguo, et al. Architecture and key technologies for situational awareness based automatic intelligent dispatching of power grid[J]. Power System Technology, 2014, 38(1): 33-39.
- [12] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-7.
CHEN Shuyong, SONG Shufang, LI Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7.
- [13] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网述评[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(34): 1-8.
YU Yixin, LUAN Wenpeng. Smart grid and its implementations[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(34): 1-8.
- [14] 汪际峰, 沈国荣. 大电网调度智能化的若干关键技术问题[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(1): 10-16.
WANG Jifeng, SHEN Guorong. Some key technical issues on intelligent power dispatching of bulk power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(1): 10-16.
- [15] 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.
- [16] 郑贵省, 赵锐, 赵国亮, 等. 10 kV 电网故障图模一体化处理平台[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 91-94.
ZHENG Guisheng, ZHAO Rui, ZHAO Guoliang, et al. Graph and model integrative system for fault transacting in 10 kV power networks[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(15): 91-94.
- [17] 李江华, 宋玮, 周庆捷, 等. 基于图模拼接的整定计算数据中心研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(24): 9-13.
LI Jianghua, SONG Wei, ZHOU Qingjie, et al. Research on setting calculation data center based on splicing of graph and model[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(24): 9-13.
- [18] 贾德顺, 张勇, 邹国惠, 等. 基于 IEC 61850 标准的远动保信一体化平台开发与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(18): 116-121.
JIA Deshun, ZHANG Yong, ZOU Guohui, et al. Development and practice of the telecontrol & relay integration platform based on IEC 61850[J]. Power

- System Protection and Control, 2014, 42(18): 116-121.
- [19] 刘必晶, 徐海利, 林静怀, 等. 运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 Jinghui, et al. Research on double check method of remote security check[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(8): 134-138.
- [20] 陆承宇, 阮黎翔, 杜奇伟, 等. 智能变电站远动信息快速校核方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 128-133.
LU Chengyu, RUAN Lixiang, DU Qiwei, et al. A new method for quickly verifying the remote information of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 128-133.
- [21] 冯善强, 张道杰, 马凯, 等. 分布式部署的新型远动机传输方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 67-72.
FENG Shanqiang, ZHANG Daojie, MA Kai, et al. Research of new remote terminal unit transmission scheme based on distributed deployment[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(12): 67-72.
- [22] 张东霞, 姚良忠, 马文媛. 中外智能电网发展战略[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(31): 1-14.
ZHANG Dongxia, YAO Liangzhong, MA Wenyuan. Development strategies of smart grid in China and abroad[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(31): 1-14.
- [23] 王晖, 吴命利. 电气化铁路低频振荡研究综述[J]. 电工技术学报, 2015, 30(17): 70-78.
WANG Hui, WU Mingli. Review of low-frequency oscillation in electric railways[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(17): 70-78.
- [24] 陈恩泽, 刘涤尘, 廖清芬, 等. 多重扰动下的跨区电网低频振荡研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 290-296.
CHEN Enze, LIU Dichen, LIAO Qingfen, et al. Research on low frequency oscillation of interconnected power grid based on multiple disturbances[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 290-296.
- [25] 孙伟卿, 王承民, 张焰, 等. 电力系统运行均匀性分析与评估[J]. 电工技术学报, 2014, 31(4): 173-180.
SUN Weiqing, WANG Chengmin, ZHANG Yan, et al. Analysis and evaluation on power system operation homogeneity[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 31(4): 173-180.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.
XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 127-131.
- [29] 荀挺, 张珂珩, 薛浩然, 等. 电网调控数据综合智能分析决策架构设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 121-127.
XUN Ting, ZHANG Keheng, XUE Haoran, et al. Framework design of the analysis decision system about the power grid data[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 121-127.

收稿日期: 2015-12-12; 修回日期: 2016-01-11

作者简介:

王晓蔚(1970-), 女, 博士, 高工, 研究方向为电力系统自动化。E-mail: wxwhwp@163.com

(编辑 周金梅)