

# Design and Implementation of “Source-Grid-Load” Event Playback Platform

Dongdong Xu<sup>1</sup>, Biqi Rao<sup>2</sup>, Jun Xu<sup>3</sup>, Liang Hong<sup>4</sup>

<sup>1</sup>State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>State Grid Wuxi Power Supply Company, Wuxi Jiangsu

<sup>3</sup>State Grid Taizhou Power Supply Company, Taizhou Jiangsu

<sup>4</sup>EPISERTC, China Energy Research Society, Beijing

Email: bailey\_zhang@163.com

Received: Feb. 1<sup>st</sup>, 2018; accepted: Feb. 21<sup>st</sup>, 2018; published: Feb. 28<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Large-scale “Source-Grid-Load” system was built in Jiangsu in June 2016, and Suzhou region has achieved fast cutting capacity of 1100 MW. A real experiment was carried out on May 24 2017. As one of the most important part of the frequency control system of East China power grid, “Source-Grid-Load” system can meet the demand of accurate and quick disposal of the power loads to ensure the safe and stability of Jiangsu power grid. This platform has been designed to playback “Source-Grid-Load” events by collecting snapshot data, in order to objectively verify the rationality & necessity of load reduction events.

## Keywords

Source-Grid-Load, Event Playback, Virtual Power Plant, Extra-High Voltage

---

# 源网荷事件再现平台设计与实现

许栋栋<sup>1</sup>, 饶必琦<sup>2</sup>, 徐俊<sup>3</sup>, 洪亮<sup>4</sup>

<sup>1</sup>国网江苏省电力公司, 江苏 南京

<sup>2</sup>国网无锡供电公司, 江苏 无锡

<sup>3</sup>国网泰州供电公司, 江苏 泰州

<sup>4</sup>中国能源研究会电力安全与应急技术中心, 北京

Email: bailey\_zhang@163.com

收稿日期: 2018年2月1日; 录用日期: 2018年2月21日; 发布日期: 2018年2月28日

## 摘要

2016年6月,江苏大规模源网荷友好互动系统初步建成,其中苏州地区已实现1100 MW容量的快切负荷能力即“虚拟电厂”资源,并于2017年5月24日成功地进行了实切试验。该系统作为华东电网频率紧急协调控制系统的最重要组成部分之一,可满足锦苏特高压直流双极闭锁故障时,负荷精准快速处置的需求,以确保大受端的江苏电网及华东电网的安全稳定运行。本平台基于实际采集的事件快照数据进行全景再现,构建了一个以负荷减供事件为中心,相关数据、信息、知识高效展示和操作的平台,用于支持源网荷系统负荷减供事件的事前预想、事中决策辅助和事后判断,以客观验证任意一次负荷减供事件的合理性、必要性和科学性。

## 关键词

源网荷,事件再现,虚拟电厂,特高压

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

大规模源网荷系统[1]通过对可中断负荷改造,将其升级为虚拟发电厂,可在突发特高压闭锁事件特别是用电高峰时(也包括其他突发电源或电网紧急事件或自然灾害情况下)紧急响应,将大电网的事件应急处理时间从原先的分钟级提升至毫秒级,显著增强了大电网极端运行情况下的电网弹性承受能力和弹性恢复能力[2] [3] [4]。

本平台从中立者或第三方的立场出发,一方面通过调度系统对停电过程中各种线路工况、负荷信息进行采集,另一方面通过对源网荷系统的动作进行采集、快照来取证;然后,在需要事件详细分析判定的时候,将这些数据在本平台回放,对所有的源网荷有序减供事件进行事件情景再现,可以分析事件的每一个步骤和每一个动作的依据和实际的后果,判别任意的虚拟发电机组是否越过实现预案中的安全边界,如果越过则提供详细的情景快照作为佐证,从而有效地将虚拟电厂的安全边界内合规的投切,与事故减供有效区分开来,并对事故减供的负载功率进行客观的记录统计,监测是否达到《电力安全事故应急处置和调查处理条例》(国务院令 599 号)中的事故认定要求[5] [6]。

## 2. 源网荷事件再现平台设计

### 2.1. 江苏源网荷及华东频控系统整体框架

江苏大规模源网荷友好互动系统及华东电网频率紧急协调控制系统按照分层控制架构设计,整体框架如如图 1 所示。

整个系统涉及华东区域的 8 个特高压直流子站,8 个抽水蓄能子站,苏州南部地区 1 个江苏切负荷控制中心站、4 个 500 kV 分区切负荷控制子站、252 个电网侧变电站以及 810 个负荷用户控制终端。作为国家电网公司系统保护建设试点工作,可以在电网遭遇大功率直流闭锁的瞬间,根据功率缺额,自动采取多种紧急控制措施,为系统频率安全提供快速、精准、有效的支撑,为提升大电网运行安全水平、促进清洁能源消纳提供有力保障。

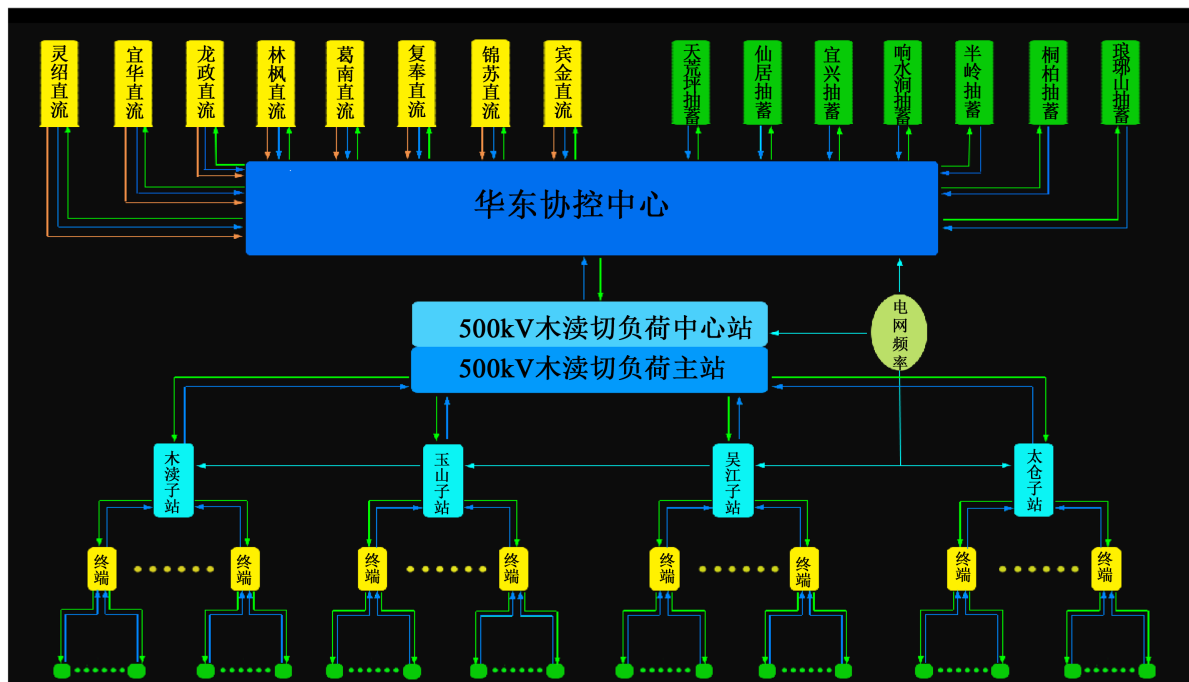


Figure 1. Framework of Jiangsu “Source-Grid-Load” System

图 1. 江苏源网荷系统的整体框架图

## 2.2. 虚拟电厂及虚拟发电机组建模

为了实现对源网荷事件的再现，本平台将更多地从管理信息系统的角度，通过软件模型(特定的数据结构)对源网荷有序减供事件中涉及各个实体及行为进行描述，并以可视化的方式实现源网荷负荷减供事件的重构、展现以及反演，其中，直流调制、抽水蓄电站相对比较简单的，也属于传统调频范畴[7] [8] [9] [10]，考虑到篇幅所限，将另文描述，而虚拟电厂、虚拟发电机组是整个源网荷的核心，故从以下几个方面予以重点论述：

### 1) 虚拟电厂知识元构建

虚拟电厂对应电网中一部分实际电力用户，他们参与了源网荷系统的项目建设，进行相关线路的改造，安装了相应的源网荷控制终端和专用光纤通道或专业 4G 无线信道，将其升级改造为虚拟电厂，集中受控于附件相应的源网荷控制子站(目前主要有木渎子站、吴江子站、太仓子站和玉山子站)，这些子站又通过木渎中心站受控于华东频控和江苏调度，这些虚拟电厂可在突发特高压闭锁事件时进行毫秒级响应，对厂内全部负荷或部分负荷进行瞬间切除(虚拟电厂瞬时并网发电)，实现电网的供需平衡，从而将大电网的事件应急处理时间从原先的分钟级提升至毫秒级，显著增强了大电网极端运行情况下的电网弹性承受能力和弹性恢复能力。

虚拟电厂的建模与传统的电厂有一定的差异，主要表现于需要充分考虑负荷的自身停电特性、响应速度、安全边界和损失模型等特点。一般按照响应性能与运营性质的不同，源网荷系统将参与的虚拟电厂分为公益型毫秒级电厂和商业型分钟/小时级电厂，前者为可中断负荷所有者，按照相关法律义务性地参与到应急虚拟电厂的建设和运行中来，不宜盈利为目的，而将各种可中断负荷改造为虚拟电厂的费用以及运行维护成本，由政府、社会与电力公司共同筹措，其一个重要特征，就是该虚拟电厂由电力公司调度中心实时控制，可以实现该厂全部或部分虚拟发电机毫秒级的投运与停产；而后者由中断负荷所有者或第三方公司投资建设，当电网出现负荷缺口，由电力公司实时发布需求，这些分钟/小时级商业型电

厂可以根据自己效益模型参与负荷需求侧的及时响应，调度中心按照各补偿的效果和投产的要价了选择供给方，如同常规的应急电厂，而其建设投资与运维成本远小于普通的应急电厂，从而达到社会资源利用率最大化。

对于任一虚拟电厂而言，其拥有的虚拟发电机的类型往往是多种多样的，主要体现于投运经营成本和越界发电(负荷停电时长超过安全边际)的风险代价，其实质上有可中断负荷的自身特征所决定的。由此可见，虚拟电厂是多种类型虚拟发电机的组合，调度中心调度的基本单位并非是虚拟电厂，而是虚拟发电机VDG，所以虚拟电厂的知识元表示中没有太多的调度属性，其知识元的定义如表1所示。

## 2) 虚拟电厂知识元录入管理

再现平台为虚拟电厂的录入管理提供专门的窗口界面，其处于源网荷系统信息一级目录之下，如图2所示。

该窗口支持虚拟电厂的定义、建模以及记录基本的增删改查操作，以及相应的权限控制，其中，该虚拟电厂的签约状态、当前运行状态(热备/发电/故障)，热备容量、当前出力总量等属性都是源网荷系统动态监测与管理的内容。

## 3) 虚拟发电机组知识元构建

如同常规的实体电厂，任一个虚拟电厂一般都有多组不同规格、不同特性的虚拟发电机构成，它们对于不同性质的用户线路负荷实体，一个普通的用户线路负荷必须进行整体化改造，包括各种测控设备的追加，安全防范设施的增强，尤其各种事故预案的制定、人员的培训和规范化的演练非常重要(因其发生的小概率性，这也是极易被基层管理、运维人员忽视的环节)，才能获得一个可以与虚拟发电机对应的用户线路负荷。这是由于用户负荷的特殊性，如果使用和处置不当，很容易产生很大的次衍生灾害，甚至人身伤亡事故，如出现类似这样的问题，将会形成巨大的社会反响。

虚拟发电机组模型是整个源网荷有序减供事件建模中关键，它也是调度中心可以直接控制和进行优

序号	用户名称	市	地区	中心站	供电单位	签约类型	在线状态	最大功率	用户属性	电压等级	线路号	运行容量	控制线数量	操作
1	江苏源科建材有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	木渎子站	常熟市供电公司	混合	在线	1842.89	大工业网荷互动用户	10kV	10002.00000	2500.000000	8	修改
2	常熟市恒合金属材料有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	木渎子站	常熟市供电公司	混合	在线	1369.95	大工业网荷互动用户	10kV	10006.00000	2380.000000	8	修改
3	常熟市恒合金属材料有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	木渎子站	常熟市供电公司	混合	在线	85.76	大工业网荷互动用户	35kV	10008.00000	505.000000	8	修改
4	常熟市江尚不锈钢有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	木渎子站	常熟市供电公司	混合	在线	0.00	大工业网荷互动用户	10kV	10009.00000	2400.000000	8	修改
5	常熟市东正机械有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	木渎子站	常熟市供电公司	混合	在线	1919.12	大工业网荷互动用户	10kV	10012.00000	2400.000000	8	修改
6	常熟市小力不锈钢制品有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	太合子站	常熟市供电公司	混合	在线	1797.43	大工业网荷互动用户	10kV	10015.00000	1250.000000	8	修改
7	江苏日进金属制品有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	太合子站	常熟市供电公司	混合	在线	1860.93	大工业网荷互动用户	10kV	10016.00000	2250.000000	8	修改
8	常熟市聚力紧固件有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	木渎子站	常熟市供电公司	混合	在线	2568.56	大工业网荷互动用户	10kV	10016.00000	3140.000000	8	修改
9	常熟市恒合金属材料有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	太合子站	常熟市供电公司	混合	在线	1687.69	大工业网荷互动用户	10kV	10017.00000	2000.000000	8	修改
10	常熟恒盛智能科技有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	太合子站	常熟市供电公司	混合	在线	376.06	大工业网荷互动用户	10kV	10018.00000	1600.000000	8	修改
11	常熟市恒合金属材料有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	太合子站	常熟市供电公司	混合	在线	623.65	大工业网荷互动用户	10kV	10023.00000	3000.000000	8	修改
12	苏州石川南联有限公司	苏州供电公司	苏州供电公司吴中区、相城区	太合子站	苏州供电公司吴中区、相城区	混合	在线	3806.75	大工业网荷互动用户	10kV	10023.00000	5400.000000	8	修改
13	常熟市恒合金属材料有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	太合子站	常熟市供电公司	混合	在线	1386.26	大工业网荷互动用户	10kV	10024.00000	2815.000000	8	修改
14	常熟市恒合金属材料有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	木渎子站	常熟市供电公司	混合	在线	1189.95	大工业网荷互动用户	10kV	10028.00000	3200.000000	8	修改
15	中交天和机械装备制造有限公司	苏州供电公司	常熟市供电公司	木渎子站	常熟市供电公司	混合	在线	0.00	大工业网荷互动用户	10kV	10035.00000	6100.000000	8	修改

Figure 2. Management interface for virtual power plant

图 2. 虚拟电厂管理窗口

**Table 1.** Definition for virtual power plant element  
**表 1.** 虚拟电厂知识元定义

列属性	特征信息内涵说明	备注
s_id	编号 id	
station_name	厂名称	
station_msg	厂信息：钢厂，铝厂 厂类型	
class	0、秒级技术型，公益电厂 1、分钟级商业型，竞价电厂	
b_id	所属受控区块 id，知识元外链链接 源网荷在江苏省的实践中，将全省划分为 28 个区块，每个区块不超过 16 个虚拟电厂，虚拟发电机到暴露源的等效潮流距离有受控区块和虚拟电厂进行标识	
lf_pos	潮流计算图中的坐标位置 $[x, y]/[\rho, \theta]$	
vdg_count	虚拟发电机组 VDG 数量	
max_p	最大热备功率	
power	当前发电出力	
cost	当前成本	
flag	调度标志，表明该厂：可以参与减供或不可调度 调度标志，可用，不可调度	
state	当前状态：热备(停产)，发电（含正常投产，越界过放）	
alarm	电厂越界警示标志，要求进入事故处置流程	

化组合的最小单位。虚拟发电机组知识元化首先需要进行了必要的抽象化，提取其与源网荷有序减供直接或间接相关的关键要素，忽略大量的各种次要因素，尽快建立起精简有效的模型，以达到真正可测量可控值可推理的效果。表 2 的数据模式为虚拟发电机结构化、知识元化的电气模型：

虚拟发电机组从其负荷的重要程度或经济损失及次衍生灾害的大小来分，目前分为 1~6 类，第 1，2 类一般是指可中断的照明线路、办公空调线路或者可中断的辅助生产性负荷，这类负荷无论是突然中断或者长时间中断都不会引起人身等次衍生灾害，也不会有重大的经济损失，从应急管理角度来看，它们属于优质的全天候虚拟发电机组，支持瞬时投产发电(全天任何时段都允许突然停电)，也支持长时间运行(也可视为不存在停电时长的限制，即不会因长时间停电造成人身或财产的重大损失)，但是这类负荷缺点是一般单机的发电出力都比较小，非常分散，用户拓展的任务量大，相应的单位千瓦改造费用高。

而对于 3~6 类线路负荷而言，一般对应于重要的用户负荷，其特点是要么不允许长时间停电，要么不允许随意停电。如炼钢炉，如果长时间停电将可能导致涨炉，一方面导致重大的经济损失，另一方面可能引发人身伤害，这类线路负荷一般称为，时长型虚拟发电机组，其一般能支持瞬时投产发电(即随时可停电)，但不能允许长时间运行；而有些线路负荷则是不允许随意停电，即在一天内某一时段可以投产发电，但某些时段则不允许，否则会有重大的经济损失甚至人身伤害，这类线路负荷一般称为，时段型虚拟发电机组。

#### 4) 虚拟发电机组知识元录入管理

虚拟发电机是源网荷系统管理和调度的基本单位，虽然目前是按负荷突然停电后果分类分批操控，但随着管理精细化的推进，以单个虚拟发电机为操控单元是必然的选择。系统支持虚拟发电机的定义、

**Table 2.** Definition for virtual power generator element  
**表 2.** 虚拟发电机组知识元定义

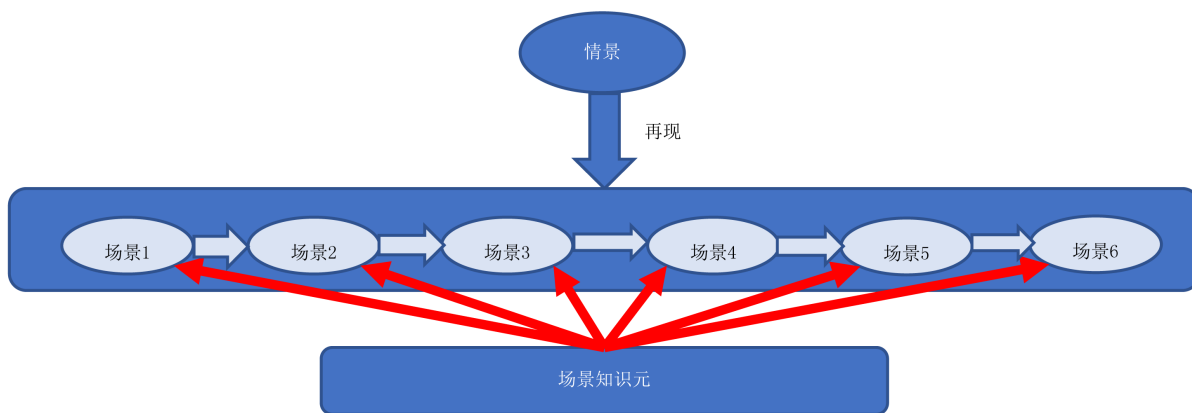
列属性	特征信息内涵说明	备注
g_id	虚拟发电机编号	
vdg_name	虚拟发电机名称	
vdg_msg	说明虚拟发电机组的性质，如钢炉，精炼炉，流水线，以及改造过程中所涉及的技术问题	
class	虚拟电厂的等级	
s_id	可以基本对应于源网荷系统所定义的 1~6 级可中断负荷等级的分类所属虚拟电厂的 id，知识元外键链接	
respond_t	源网荷目前缺省情况下，每个虚拟电厂包含 6 组不同类型的虚拟发电机，虚拟发电机的响应时间分类由其所在的虚拟电厂标识投入响应时间，爬坡时间。指虚拟电厂从停机状态到满负荷运行所需的物理响应时间，这是由自身物理特性所决定。	
exit_t	在源网荷有序减供过程中，其值不能大于所属的虚拟电厂响应时间，如技术型的虚拟电厂要求其厂内所有虚拟发电级都能达到毫秒级响应，而商业型虚拟电厂一般达到分钟级即可退出响应时间，或称可中断恢复供电需要时间，这一段时间主要用于各种次衍生灾害的防范和各种恢复供电的检查、准备，对于很多 VDG 来说这段时长是远大于实际的可中断时间，但对于虚拟发电机而言，这段时间也是其有效的工作时间，只是其发电功率在逐步降低，直到为零，最终停运	
rated_p	额定功率	
available_t	低成本、无次生灾害前提下，可中断时间未包含退出响应时间	
max_p	最大功率	
max_t	最大可中断时间未包含退出响应时间	
cost_model_id	所采用的虚拟发电机成本模型编号，包括一次投入成本和随时间变化曲线	
risk_model_id	所采用的虚拟发电机风险模型编号，包括运行时间的安全边界随时间变化的包络线	
flag	调度标志，表明该 VDG：可以参与减供或不可调度	
cur	当前时序索引	
Power [cur]	当前发电功率	
Limit [cur]	当前运行时间边界 (包络线离散化后的确定值)	
state	当前状态：储能(停产)，供电（含正常投产，越界过放）	
alarm	过放警示标志，要求进入事故处置流程，并作为事故减供进行统计	

建模以及记录基本的增删改查操作，以及响应的权限控制，其中，该虚拟发电机的负荷性质、签约状态、补偿模型(效益计算模型)、当前运行状态(热备/发电/故障)，热备容量、当前出力总量等属性都是源网荷系统动态监测与管理的内容。

这里虚拟发电机组的信息被分成 2 个表，一个表主要存储其相对静态的慢变化量，另一个表则存储带有时标的当前热备容量、当前发电出力等快变化量。

### 2.3. 源网荷场景-预案-情景-事件统一配置管理

一个完整的源网荷事件可以分为：初态、事件触发、系统感知、系统决策与指令下发、系统响应、系统恢复等多种情景，而每一种情景有时又可分为多个特定的场景，如图 3 所示。



**Figure 3.** Relationship of scene and situation  
**图 3.** 场景 - 情景对应关系图

针对不同的场景则需要有响应的预案，这样构成一个具有层次关系的场景/预案 - 情景 - 事件结构图。与源网荷有序减供相关的各种场景数据，往往需要调度中心获取，包括各线路的实时功率信息以及频率、潮流的录波信息，这些数据以时间为索引保存在系统实时快照库中。

### 2.4. 源网荷事件再现的可视化

以信息可视化手段实现源网荷互动事件的再现，通过平台论证过的各种源网荷有序减供计划和调度方案的匹配，将不符合而减供者直接判断为事故减供，对于符合而减供者，则依据安全运行边界包络线进行判别。

图 4 展示的是江苏电力应急中心的展示大屏，分为一块 5773 × 1280 的主屏，和两块 3840 × 3250 的侧屏，其中侧屏用于展示一些慢变化量和次要信息，实时动态的信息主要展示与主屏。主屏基本可以分为三个部分，左边围绕虚拟发电机组(可切线路)展开，利用地图展示了机组在苏州地区乃至江苏地区的分布情况，支持地图的缩放以及各个机组详细信息的调阅，同时用不同的色彩以及闪烁，动态地表示该机组目前处在热备、投产、恢复的不同状态。地图侧面的虚拟发电机组的列表，可以实时地查阅每个机组当前的热备功率、当前的发电出力以及发电指令持续时长，补偿金额，签约状态。同时支持信息的多维展示，可以按当前热备容量大小展示，也可以按当前机组出力大小展示，也可以按发电指令持续时长展示或按补偿金额展示。

大屏中间部分是一个消息指令窗，其真实地按顺序展示了整个事件过程中不同阶段，控制中心发布的每一条消息和每一条指令，以及直流调制、抽水蓄能、虚拟发电机组不同时刻的动作响应情况，指令窗侧面这是一个情景的解说窗口，方便用户更细致地了解各阶段的详细信息。

大屏的右边是围绕整个电网运行工况来展示，如图 5 中则所示。左边是先有的四个虚拟发电机组控制子站的运行情况，其中绿色的区间表示按供电协议可用的发电容量，蓝色的区域是指技术已经完成改制，可以进行毫秒级快切的负荷(但用户协议尚未签订)，而红色区域是本站最大可以切除的负荷，但目前只能用拉闸限电的方式进行成片区切除，还没有完成精确快切的技术改造，也没有完成用户协议。中间部分和右边反映事件发生过程中直流调制、抽水蓄能、电网频率以及重要潮流断面的实施变化情况。

### 3. 5-24 切实演练的实例分析

整个切实演练经过 2 个多月的精心准备，动用大量人力、物力，虽然取得了成功，但过程中暴露出来的不少问题，在此进一步深入细致的分析。



Figure 4. Visualization platform for event playback  
图 4. 事件推演再现的可视化平台



Figure 5. Operation condition of Huadong grid  
图 5. 华东电网运行工况图



1) 锦苏特高压直流被人工闭锁后, 江苏电网瞬间缺少 3000 MW 电力供应, 苏州市六分之一区域存在全部停电或者更大面积停电的风险, 然而本次缺额的供给主要是依靠切除天荒坪等 7 座抽蓄电站共计约 2025 MW 正在抽水的机组来弥补的, 而抽蓄机组有时并不能提供这么大的补偿, 这需要进一步增加虚拟电厂的补偿量;

2) 本次演练中启用了世界首套“大规模源网荷友好互动系统”, 及时调度“虚拟电厂”资源(切除了可中断负荷 25.5 万千瓦, 用户数 233 户); 控制实际下发负荷切除量本是 278 MW, 而实际切除量为 255 MW, 除了有 15 条线路(虚拟发电机)因按原来的设定小于 10 KW 下限没有启动外, 另有 33 条线路因负控开关的拒动而未能实现有效减供(虚拟发电机未能投产发电), 这也是目前虚拟电厂建设过程中最常见故障问题, 是后期繁重的检测检修任务中的一部分。

3) 这次参与快切的负荷(虚拟电厂)都是小功率不重要的照明、空调、辅助设备等非生产性负荷, 在系统里属于第一层级的负荷, 它们的优势在于全天候随时可以使用, 但单机的功率很小, 将其改造为虚拟电厂的效益成本很低, 导致可热备的虚拟电厂总发电量增长缓慢, 难以满足实际的需求。一种有效的解决办法就是, 将钢铁企业这种尽早全面纳入到协议电厂名单中来, 结合轮切等先进理论重复发挥这些时段性大功率虚拟发电厂的效能。

4) 从系统响应性能看, 无论的虚拟电厂, 还是直流调制或是抽蓄电厂其指令响应能力基本都能满足毫秒级的性能, 但问题是整体上有些参差不齐, 如抽蓄电站的响应速度有些有了数据级的差距, 其主要延迟往往不是通道方面, 更多是来自子站控制中心的延迟以及用户端控制终端的延迟, 因此这些环节软件性能的优化, 尖峰负荷的控制都是需要进一步努力的方向。

#### 4. 总结

该展示平台实现了以负荷减供事件为中心, 对相关数据、信息以快照方式予以采集存储, 在需要事件详细分析判定的时候, 将这些数据在本平台回放, 对所有的源网荷有序减供事件进行事件情景再现, 可以分析事件的每一个场景, 用于支持源网荷系统负荷减供事件的事前预想、事中决策辅助和事后判断, 以客观验证任意一次负荷减供事件的合理性、必要性和科学性。

#### 参考文献 (References)

- [1] 何贤. 关于源网荷互动系统负荷侧建设的探讨[J]. 电子世界, 2016(22): 130.
- [2] 徐鲲鹏. 源荷互动技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [3] Callaway, D.S. and Hiskens, I.A. (2011) Achieving Controllability of Electric Loads. *Proceedings of the IEEE*, **99**, 184-199.
- [4] Sioshansi, R. (2010) Evaluating the Impacts of Real-Time Pricing on the Cost and Value of Wind Generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, **25**, 741-748. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2009.2032552>
- [5] 李大虎, 孙建波, 方华亮, 等. 特高压接入电网后的源网荷互动调峰方式[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2016, 49(1): 94-99.
- [6] 彭生江, 周专. 基于功率突增的稳控切负荷策略研究[J]. 智能电网, 2015(1): 1047-1051.
- [7] Miranda, M.S. and Dunn, R.W. (2006) One-Hour-Ahead Wind Speed Prediction Using a Bayesian Methodology. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 6 p.
- [8] 陈征, 李长海, 徐杰彦, 等. 荷-网-源协调控制后电网降损能效评估指标体系[J]. 电力需求侧管理, 2016, 18(3): 5-10.
- [9] Ma, Y., Houghton, T., Cruden, A., et al. (2012) Modeling the Benefits of Vehicle-to-Grid Technology to a Power System. *IEEE Transactions on Power Systems*, **27**, 1012-1020. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2178043>
- [10] Vazquez, S., Lukic, S.M., Galvan, E., et al. (2010) Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **57**, 3881-3895. <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2076414>

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2325-2286，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[sea@hanspub.org](mailto:sea@hanspub.org)