# 综合能源接入电网管控技术体系研究

提出了一种面向区域综合能源的一体化服务管控平台方法，通过与配电网自动化控制中心系统的互联配合，实现对综合能源的统一数据接入与运行监控，对综合能源的发电功率预测和系统负荷预测修正，含综合能源的区域电网运行分析与智能调度，以及辅助决策和信息发布服务等功能。达到区域综合能源可监视、可预测、可计划、可控制以及规范化管理的目的，服务综合能源的有序接入和规模化发展，保障电网的整体安全和有序运行。

邹三红　高　强　陈舒颖　郑锐坚／中国南方电网广州供电局有限公司

邹三红／工程师

关键词／Keywords
新能源并网·
分布式接入·
管控体系·
区域配电网·

## 0　引言

近年来，光伏、小水电和小火电等各类综合能源取得了快速的发展。大规模综合能源的并网改变了传统配电网辐射运行、单向潮流的特点[1]，对继电保护、电压无功管理和电能质量等均带来了新的问题和挑战。综合能源类型多、数量多、分布广和特性不一，特别是光伏发电具有随机性、波动性和间歇性等自然特点[2]，给系统运行管理部门带来了新的调度运行管理需求，包括综合能源接入监视与渗透率分析、综合能源并网电压无功分析与控制、综合能源发电功率预测与有序发电管理以及区域配电网断面安全控制与优化调度等内容。

国家电网和南方电网均颁布了分布式电源并网技术规范，对分布式电源的有功调节能力、无功调节能力、电能质量和继电保护等方面提出了基本要求，但是并未对分布式电源接入区域配电网的调度运行管理业务进行规范化说明。传统配电网自动化信息化系统未涉及分布式综合能源，在综合能源并网调度运行管理方面，系统运行管理部门缺乏有效的技术支撑手段，盲管现象普遍存在。对综合能源接入电网的管控技术进行研究显得日益迫切。

## 1　管控平台预期目标及要求

### 1.1　预期目标

为了适应大规模综合能源并网和运行管理需要，本文提出了一种面向区域综合能源的一体化服务管控平台方法，通过与配电网自动化控制中心系统的互联配合，实现对综合能源的统一数据接入与运行监控，对综合能源的发电功率预测和系统负荷预测修正[3]，含综合能源的区域电网运行分析与智能调度，以及为综合能源客户和电网各部门、各专业的辅助决策和信息发布服务等功能，逐步形成对区域综合能源群的有效服务管控，达到区域综合能源可监视、可预测、可计划、可控制以及规范化管理的目的，服务综合能源的有序接入和规模化发展，保障电网的整体安全和有序运行[4]。

### 1.2　对管控平台的要求

#### 1.2.1　运行监视要求

需对综合能源并网点电压、功率因数和电能质量等进行统一采集和监视。

部分综合能源装机过大，在节假日或午间负荷低谷时期，需关注上级主变压器负荷及功率因数。

综合能源接入较集中的区域发生瞬时故障时，大量综合能源脱网后，可能引起主网潮流突变，引起频率和电压变

化问题，需关注区域各潮流节点设备的综合能源渗透率。

1.2.2 调度管理要求

发生断面负荷控制时，需考虑去除光伏发电负荷，避免天气变化或故障等情况时，光伏发电脱网造成断面负荷越限事件[5]。

部分光伏电站接入馈线存在环网功能，若调整了馈线运行方式，各类分析应用也应随之改变。

1.2.3 继电保护要求

综合能源接入后，应对已有配电网继电保护进行适应性分析，并研究制定完善方案，如馈线出线及自动化开关保护应加装方向元件，在综合能源投退或馈线运行方式变化时对继电保护定值重新整定等。

## 2 管控体系功能需求分析

### 2.1 运行分析应用

从对综合能源各环节的运行分析出发，管控体系业务分类如下。

事前分析类：全市、区域和电站数值天气预报；全市、区域和电站发电功率预测；负荷预测修正；变电站、馈线等可接入容量分析。

事中分析类：全网监视、区域监视、变电站监视、馈线监视和综合能源电站监视等；监视的内容主要包括负荷、发电量、渗透率和气象监视等。

事后分析类：综合能源发电特性分析、综合能源发电效益分析和综合能源功率预测准确性分析等。

### 2.2 运行管控服务

从对综合能源运行管控、管理服务和信息服务等不同应用需求出发，管控体系功能分类如下。

运行管控主要包括电压无功管理、断面安全预警和继电保护管理，如表1所示。

管理服务主要包括综合能源发电、运行和功率预测管理服务，如表2所示。

信息服务主要包括内部客户信息服务和综合能源客户信息服务，如表3所示。

表1 运行管控功能

| | | |
|---|---|---|
| 电压无功管理 | 用户力率管理 | 监视分析含综合能源的用户力率及其改善情况，可调阅单线图监视执行结果 |
| | 电压协调控制 | 监视分析综合能源并网点及其上级变电站电压情况，可调阅单线图监视执行结果 |
| | 管控指令记录 | 记录并展示协调控制终端和能源管控终端调节指令 |
| 断面安全协调控制 | 关键断面与综合能源关联性分组 | 根据系统连接和运行方式，确定与主网关键断面关联的综合能源 |
| | 断面安全预警 | 分析综合能源发电功率对断面的影响，在潜在发生断面越限时，预警提示 |
| 继电保护定值管理 | 保护配置和定值管理 | 对综合能源和配电网保护配置情况和定值数据进行集中管理，并可按照相关性进行统一查看 |
| | 继电保护影响分析 | 分析综合能源接入后对馈线过电流保护、重合闸和10 kV母线备自投等保护的影响 |
| | 继电保护整定 | 对综合能源接入后的配电网各继电保护定值进行整定计算和灵敏度校验 |
| 群控 | 综合能源群控 | 对多个综合能源管控终端进行群控 |

表2 管理服务功能

| | | |
|---|---|---|
| 综合能源发电管理服务 | 综合能源发电特性管理服务 | 提供功率波动特性、功率分布特性、天气特性和季度特性管理服务 |
| | 综合能源发电效益管理服务 | 提供发电效率、设备利用率、有效利用小时数、投资回报率和投资回收期等管理服务 |
| 综合能源运行管理服务 | 电压合格率管理 | 按全网、区域、变电站、馈线、综合能源电站和并网点，逐级统计计算综合能源并网点电压合格率，提供多维度对比分析和展示 |
| | 功率因数合格率管理 | 按全网、区域、变电站、馈线、综合能源电站和并网点，逐级统计计算综合能源并网点功率因数合格率，提供多维度对比分析和展示 |
| | 电能质量管理 | 按全网、区域、变电站、馈线、综合能源电站和并网点，逐级统计计算综合能源并网点电能质量合格率，提供多维度对比分析和展示 |
| | 可靠性管理 | 按全网、区域、变电站、馈线、综合能源电站和并网点，逐级统计计算综合能源发电系统可靠性，提供多维度对比分析和展示 |
| | 调度指令执行率管理 | 统计计算各类型、各个综合能源电站对电网调度指令的执行率，提供多维度对比分析和展示 |

（续）

| | | |
|---|---|---|
| 综合能源功率预测管理服务 | 短期预测日准确度管理 | 按全网、区域、变电站、馈线、综合能源电站和并网点，逐级统计计算综合能源短期功率预测日均方根误差、绝对值误差、相对值误差和置信区间等，提供多维度对比分析和展示 |
| | 短期预测月准确度管理 | 按全网、区域、变电站、馈线、综合能源电站和并网点，逐级统计计算综合能源短期功率预测月均方根误差、绝对值误差、相对值误差和置信区间等，提供多维度对比分析和展示 |
| | 超短期预测日准确度管理 | 按全网、区域、变电站、馈线、综合能源电站和并网点，逐级统计计算综合能源超短期功率预测日均方根误差、绝对值误差、相对值误差和置信区间等，提供多维度对比分析和展示 |
| | 超短期预测月准确度管理 | 按全网、区域、变电站、馈线、综合能源电站和并网点，逐级统计计算综合能源超短期功率预测月均方根误差、绝对值误差、相对值误差和置信区间等，提供多维度对比分析和展示 |

表3 信息服务

| | | |
|---|---|---|
| 内部客户信息服务 | 负荷预测修正信息服务 | 为发电计划管理人员提供综合能源发电功率修正的负荷预测结果 |
| | 接入规划辅助信息服务 | 为综合能源接入管理人员提供电网各节点对综合能源的可接入容量信息服务 |
| | 综合能源运行月报服务 | 为系统运行管理人员提供月度综合能源运行总结报告，包括并网点电压合格率、功率因数合格率、总谐波畸变率合格率、三相不平衡度合格率、可靠性、调度指令执行率和调度指令执行偏差率等 |
| | 综合能源运行年报服务 | 为系统运行管理人员提供年度综合能源运行总结报告，包括并网点电压合格率、功率因数合格率、总谐波畸变率合格率、三相不平衡度合格率、可靠性、调度指令执行率和调度指令执行偏差率等 |
| 综合能源客户信息服务 | 综合能源客户发电异常告警服务 | 在综合能源发电异常时发送告警提示信息 |
| | 综合能源客户月报服务 | 提供月度综合能源发电总结报告，包括发电量、发电效率、设备利用率、有效利用小时数、电量收益、发电补贴、电量总收益、投资回报率、投资回收期、节能减排效益以及同业对标结果等内容 |

## 3 管控体系架构设计

体系逻辑架构如图1所示。

应用服务器层使用nginx＋tomcat进行负载均衡部署tomgcat集群，解决并发量及服务稳定性问题。

支撑架构主要使用当前比较流行的基础框架，后台主要使用spring、mybatis和quartz等流行mvc架构，前端使用jquery、echart及fineReport等组件开发模式。

根据支撑架构最终要实现插件开发，实现多个插件功能模块，从而实现

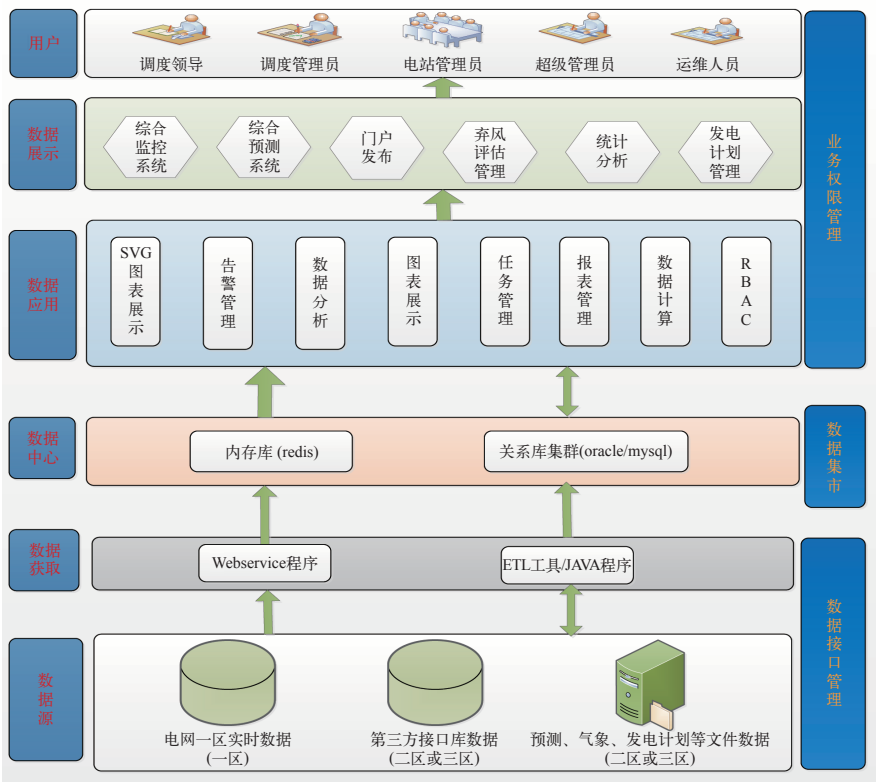


图1 体系逻辑架构

代码的可复用性。

### 3.1 数据架构

数据层分为关系数据库和内存数据库两种，目前关系数据库使用oracle或mysql进行历史数据存储；内存库使用流行的轻量级内存库redis进行实时数据存储。如图2所示。

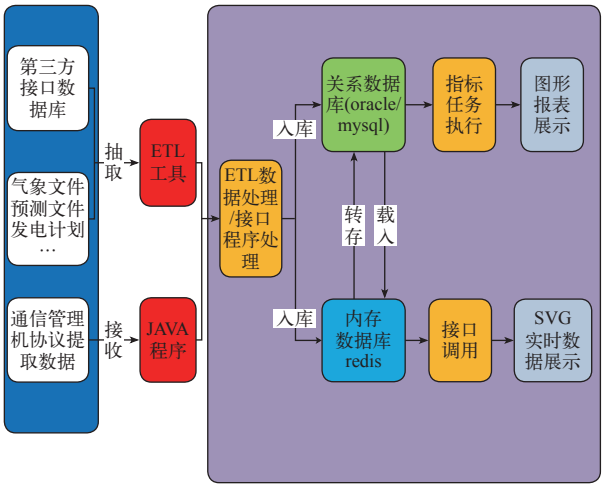


图2　数据框架

### 3.2 部署架构

管控平台采用分层分布式结构[6]，平台部署于安全III区，满足《电力监控系统安全防护规定》要求和供电局实际应用需要，实现对供电局管辖范围内综合能源的数据接入、运行分析、功率预测、运行管控以及信息服务等功能，支撑对区域综合能源的服务管控业务应用。平台部署结构示意图如图3所示。

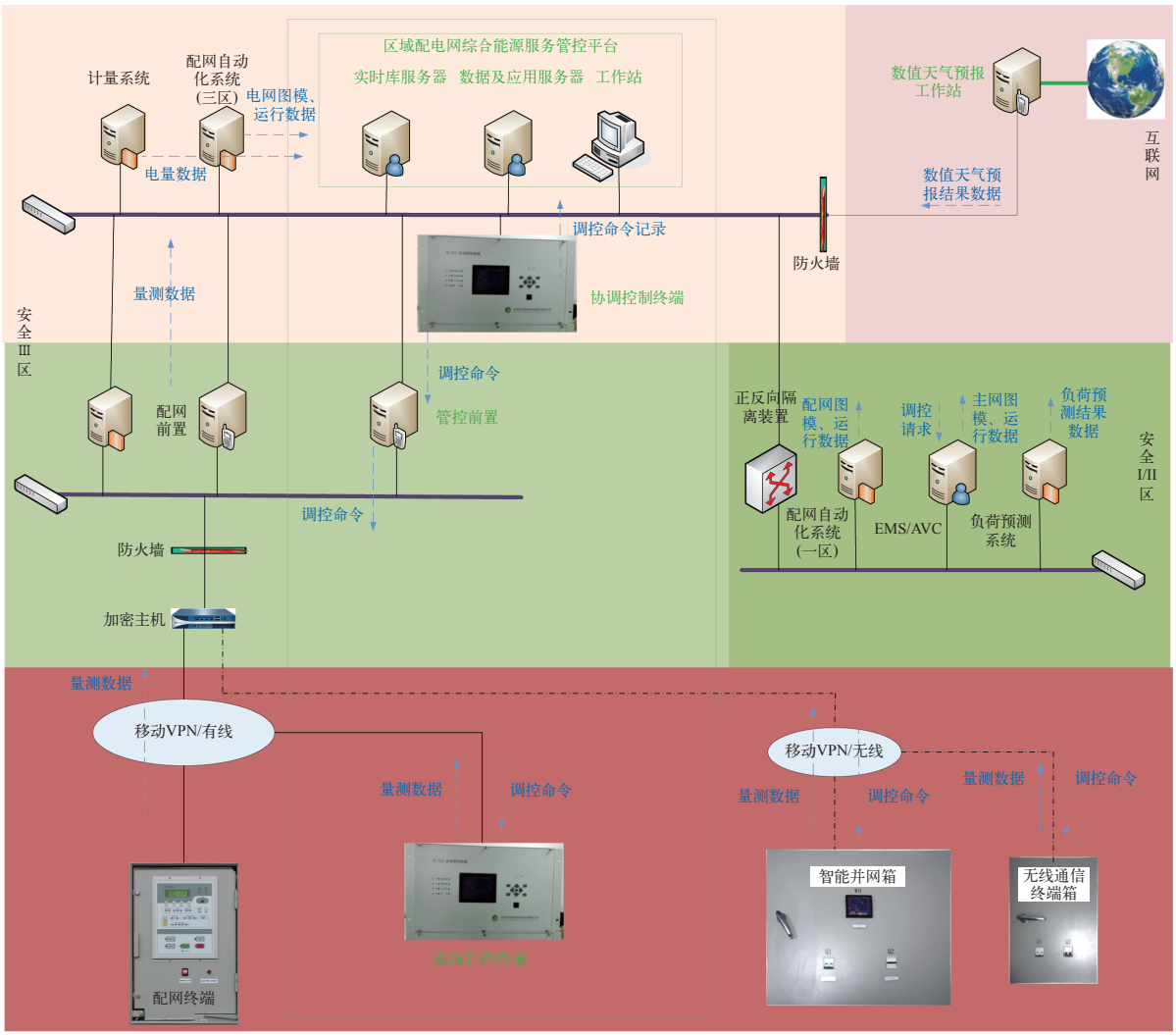


图3　平台部署架构图

管控平台实时库服务器主要用于遥测、遥信以及计算数据等实时数据的存储，支撑实时监控类功能应用。管控平台数据及应用服务器用于电网模型及历史运行数据存储，以及数据分析、展示和信息发布应用。管控前置实现遥测、遥信、遥控和遥调功能，支持主站对综合能源模拟量、状态量数据的统一采集，以及遥控、遥调命令的下发。数值天气预报工作站用于外网数值天气预报数据接收。三区工作站供系统运维管理使用。

## 4 系统接口设计

从图3可见，本平台数据接口包括与配电网自动化系统、电能量计量系统和负荷预测系统的接口。

1）与配电自动化系统的接口。平台从配电自动化系统获取配电网的网络拓扑、相关一次设备参数，以及一次设备所关联的量测、状态和保护信息。平台与配电自动化系统交互中，电网图模等静态参数通过中间数据库方式实现，实时量测数据通过文件方式实现。

2）与电能量计量系统的接口。平台从电能量计量系统获取综合能源及相关配电变压器的日冻结电量数据，通过中间数据库方式实现。

3）与负荷预测系统的接口。平台从负荷预测系统获取次日系统负荷预测结果数据，通过文件方式实现。

## 5 运行效果分析

基于以上需求分析和架构设计所开发的综合能源接入电网管控平台，已在部分供电局进行试点运行并投入使用，显著提升了电网对综合能源的监视分析和运行管理水平。

### 5.1 综合能源对变电站母线电压的影响分析

通过本平台实现对综合能源及变电站监控数据的统一采集和分析，可有效分析综合能源功率波动对上级变电站母线电压的影响。图4为某110 kV变电站低压侧10 kV母线电压的日运行曲线。由图4可见，该母线在14：35开始电压发生较大波动，并于17：15降至最大值。经过关联分析，这是由该变电区域的光伏总有功功率因为天气突变而发生骤降导致的。这在南方夏季属于较为常见的天气事件。

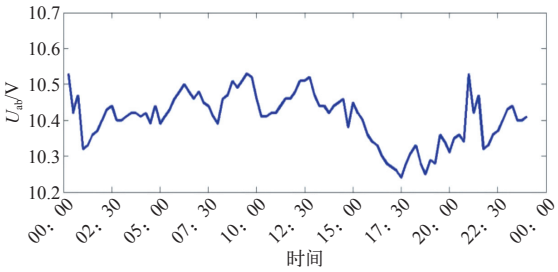


图4 某变电站母线电压曲线

### 5.2 综合能源对变电站主变压器运行的影响

上节所述事件同时也对变电站主变压器运行带来了影响。来自调度系统的该主变压器电流监控数据如图5所示。从14：45开始，该主变压器电流从803 A快速上升，直到17：15，电流升至960 A。通过本平台，可及时掌握变电站运行状态，分析综合能源带来的影响，为保障变电站安全运行提供保障。

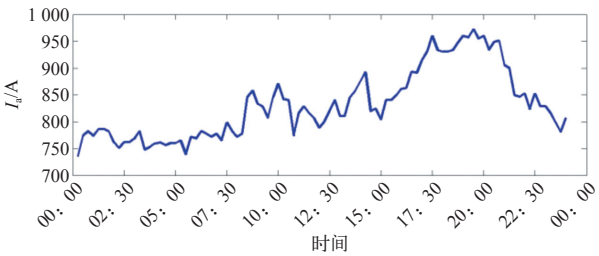


图5 某变电站主变压器电流曲线

## 6 结束语

本文针对综合能源并网给电网调度运行带来的新问题，提出了综合能源接入电网的管控技术体系，包括运行监视、调度管理和继电保护等方面的新要求，进而设计开发了电网面向综合能源的管控平台。该平台已在部分供电局进行试点运行并投入使用，应用情况表明，该平台对电网企业及时掌握综合能源运行状态，分析综合能源对电网运行带来的影响，从而采取适当的调度管理策略起到了积极的作用，为综合能源接入电网的

(下转第88页)

混合接地技术一方面保留了小电阻接地方式所具有的隔离故障快、准确性高的优点，另一方面又可有效补偿配电网中发生的瞬时性接地故障，因此可大幅降低20 kV线路跳闸率。

随着混合接地技术在嘉兴20 kV配电网的深入应用，一次设备选型将更加科学，二次控制模块将向集成化、一体化方向发展，技术可靠性会获得大幅提升，应用前景十分广阔。

**参考文献**


[1] 要焕年，曹梅月．电力系统谐振接地 [M]．北京：中国电力出版社，2000．

[2] 侯永将．中压配电网中性点接地方式研究 [D]．郑州：郑州大学，2010．

[3] 李甜甜．20 kV配电网中性点接地方式与继电保护改造的研究 [D]．北京：北京交通大学，2010．

[4] 马春艳，袁兆强．关于配电系统中性点接地方式的探讨 [J]．自动化技术与应用，2006，25 (2)：74-76．

[5] 洪文明，沈一平．一种改进的经消弧线圈接地方式在城市配电网的应用 [J]．浙江电力，2007，35 (5)：52-54．

[6] 韩静，徐丽杰．中性点经消弧线圈瞬时并联小电阻接地研究 [J]．高电压技术，2005，31 (1)：38-40．

[7] 朱维明，徐建强，仇群辉，等．关于20 kV配电网灵活接地方式若干问题的探讨 [J]．浙江电力，2012，40 (7)：6-9．

[8] 侯义明，张冬霞，彭冬，等．20 kV中压配电理论研究与工程实践 [M]．北京：中国电力出版社，2009．

[9] Zeng Xiangjun，Xu Yao，Wang Yuanyuan．Some novel techniques for insulation parameters measurement and petersen-coil control in distribution systems [J]．IEEE Transactions on Industrial Electronics，2010，57 (4)：1445-1451．

[10] 江渝，冉立，刘和平．可调节消弧线圈接地系统单相接地故障的辨识和选线 [J]．电工技术学报，2007，22 (8)：101-107．


（收稿日期：2016－02－10）EA

(上接第82页)

运行管控提供了有益借鉴，可有效保证电网的安全稳定运行，也为分布式能源的推广应用提供了基础支撑。

**参考文献**


[1] Shirmoharmnadi D，Hong H W，Semlyen A，et a1．A compensation based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks [J]．IEEE Transactions on Power Systems，1998，3 (2)：753-762．

[2] 高军彦，杨聪，韩春雨．辐射型配电网潮流算法综述 [J]．中国电力教育，2007 (增刊3)：71-74．

[3] 杨理才，贺辉，刘国特，等．参照系统负荷预测的母线负荷预测修正方法 [J]．电力系统及其自动化学报，2012，24 (3)：156-160．

[4] 张征，王晓蓉，等．新能源接入综合系统研究与实现 [J]．供用电，2011，28 (1)：15-18．

[5] 赵昀．配电网智能分析与管控平台建设研究 [J]．电源技术应用，2013 (4)：209．

[6] 钟贵和，王星华，甘德树，等．输电断面的有功安全预防－校正负荷调整算法 [J]．电力系统保护与控制，2014 (16)：15-20．


（收稿日期：2016－02－10）EA