

KGE BEI ZHINENG DIANWANG PEIYONGDIAN XINJISHU
YU YINGYONG YOUXIU LUNWENJI

KGE杯 **智能电网配用电新技术与应用** **优秀论文集**

英大传媒投资集团有限公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

KGE BEI ZHINENG DIANWANG PEIYONGDIAN XINJISHU
YU YINGYONG YOUXIU LUNWENJI

KGE杯

智能电网配用电新技术与应用

优秀论文集

英大传媒投资集团有限公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

智能电网配用电新技术与应用优秀论文集/英大传媒投资集团有限公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5123-6918-4

I. ①智… II. ①英… III. ①智能控制-电网-配电系统-文集
IV. ①TM76-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 286792 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月北京第一次印刷

889 毫米×1194 毫米 16 开本 11 印张 457 千字 2 插页

定价 40.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

编 委 会

主 任 孔庆军 区建斌 邓占峰

副主任 向永红 张志华

委 员 曹建萍 卢永祥 董 艳 龚玉敏 邓 军

前 言

智能电网作为当今世界电力自动化系统发展的最新动向，被认为是 21 世纪电力系统的重大科技创新和发展趋势，是承载第三次工业革命的基础平台，对第三次工业革命具有全局性的推动作用。随着我国新型城镇化的推进，分布式能源大量接入，配电网建设成为智能电网发展的当务之急。当前，国家电网公司提出建设国际一流配电网的目标，配电网建设进入黄金期。国家电网公司目前已在智能配电网领域的理论研究和建设实践中取得了显著成效，实现了多领域关键技术的突破。

为了鼓励电网系统从业人员更加积极投身智能电网的创新和发展事业中，英大传媒投资集团有限公司于 2014 年组织开展了 KGE 杯" 智能电网配用电新技术与应用" 优秀论文征集评选活动，该活动由广州南方电力集团科技发展有限公司、《智能电网》杂志协办，国网卓越传媒承办。征文活动得到了电网系统相关单位的大力支持和广大配网技术专业人员的踊跃参与，共收到论文 120 余篇，经专家组严格评审，共选出优秀论文 46 篇。现将这些优秀作品结集出版，以供广大电网技术人员交流学习使用。

本书编写组

2014 年 12 月

目 录

前言

智能配电网优化调度关键技术研究及示范应用	朱 红 周冬旭 嵇文路 罗 兴 (1)
配电自动化运维管理探析	马 骏 (8)
智能配电网状态估计软件平台设计	王守相 梁 栋 (14)
一种智能配电房建设与应用	云昌盛 李嘉添 (19)
基于 VSC-MTDC 模型的交直流混联配网系统研究	申定辉 于晓蕾 王 伟 (23)
配网智能变电站组网方案的探讨	王长瑞 刘军娜 张 雯 杨 琨 (30)
MK800 变压器综合测试仪的现场应用	邵 飞 毕祥银 (33)
虚拟储能控制方法在智能电网中的应用	於砚福 (35)
基于光纤复合低压电缆 (OPLC) 到户的智能小区典型试点工程设计实践	李 宁 (40)
智能面保护的研究与应用	刘 虎 刘远龙 (45)
一种特殊的单相接地现象及检测方案	姜炯挺 金 迪 (49)
配网智能用电服务系统的建立	刘东旗 穆志军 孙海涛 曹法明 刘春华 (51)
基于光纤通讯的快速保护型配电自动化模式方案	崔爱国 (55)
220kV 智能变电站状态监测系统配置与设计	田正雄 (58)
国网重庆市区供电公司配电自动化建设经验总结	刘 蕾 (61)
宁波市鄞州区供电公司智能化配网的管理创新	邱国福 李光军 (64)
智能巡检系统提高配网运行水平	张 杰 陈 颖 (69)
便携式智能化配网一次系统模拟图板在供电所智能配网知识培训工作中的应用	王贵昌 吴振洲 孙 勇 滕春利 (72)
EPON 技术在西藏电力配电通信网中的应用	王 强 (75)
基于物联网的配电线路智能感知系统的应用	隋佳音 吴新玲 (79)
考虑空间负荷信息的配电网络重构	朱亚静 毕 克 (82)
电动汽车接入电网对电能质量影响的研究分析	王 昆 韩存繁 李加正 滕殿祥 (85)
分布式发电微网方式接入智能配电网的研究	陶振山 张志强 魏 燕 (88)
关于银川市智能小区建设实践的思考	李 静 夏博文 陈小惠 (91)
电力营配工作中电子式智能锁系统的设计与应用	巫志平 (94)
智能小区综合管理系统建设实践	马小军 (98)
EPON 技术在配网自动化系统中的应用	赵全东 (101)
智能用电管理系统方案设计	韩 斐 (105)
智能系统在城市与农网台区中的应用	王 帅 王亚洲 侯宏伟 (110)
电力自动化继电保护安全管理	孙 杰 (113)
推广智能表改造之我见	张炳江 赵士聘 (115)
智能电网综合培训系统的探索与实践	王 森 高 伟 刘春辉 (118)
解析能源复制器原理及在智能电网中应用的意义	董玉斌 (120)
新型 35kV 户外熔断器接线端帽的研制	赵利平 (122)
箱式氮气绝缘金属封闭中压开关设备在 10kV 配网中的应用	王培川 李 刚 胡旭东 王 明 郭营生 (129)
配网自动化建设与人体神经系统	王 鹏 (133)

智能变电站中 GIS 设备的运行与维护	隋新世	隋君斐	刘炳芹	马效文	(137)
浅谈配网自动化通信光纤损坏原因及建议	张美青	马志勇			(140)
新安台区智能化带来农电管理新变化	陈红文				(143)
配网自动化及通信系统的规划建设	于浩	王立辉	孙闯	郑军辉	郝辉 (147)
一种电动汽车与电网互动 (V2G) 充电站的设计和运行构想	范英乐	鄢斌			(150)
用电信息采集系统应用实践	朱传孟	窦荣政	陈凯		(153)
基于百万数据点的 IEC61850 客户端速初始化方法研究					
.....	彭鹏	姜闯笈	陈满	李勇琦	潘合玉 (156)
以“四同管理”促进“市县一体化融合”	刘玮				(160)
中压配电系统中性点接地方式的分析与比较	吴学超	常滨	张黎明	干耀生	魏佳 (162)
XLPE 电力电缆局部放电检测方法的实例应用	高世琰	李刚	张菊梅	周季明	(165)

智能配电网优化调度关键技术研究及示范应用

朱红 周冬旭 嵇文路 罗 兴

(国网南京供电公司, 江苏省南京市 210019)

摘要: 为有效指导智能配电网建设, 在分析传统配电网调度存在问题的基础上, 确立了智能配电网优化调度总体框架, 首次提出了智能配电网优化调度模式理论, 建立了多时间尺度递进式调度策略, 并构建了优化调度体系结构。同时, 研发了智能配电网综合优化系统作为优化调度高级应用的实现, 提高了配网调控的精准化和快速化水平。研究成果在南京青奥智能电网示范区进行了成功应用, 有效降低了负荷峰谷差和电网损耗, 保证了青奥会期间电网的高效运行, 为智能配电网建设提供了理论和实践依据。

关键词: 智能配电网; 优化调度; 调度模式; 体系结构; 高效运行

0 引言

智能配电网是智能电网的重要组成部分, 它以灵活、可靠、高效的配电网网架结构和高可靠性、高安全性的通信网络为基础, 支持灵活自适应的故障处理和自愈, 可满足高渗透率的分布式电源和储能元件接入的要求, 满足用户提高电能质量的要求。目前, 现有配电网距离智能配电网的要求还有一定差距, 主要体现在: 1) 配电网规划缺乏系统性, 对资产利用率和经济性关注不足; 2) 智能配电技术处于起步阶段, 智能化水平较低, 管理手段相对落后; 3) 配电自动化系统覆盖范围很低, 远远低于先进国家水平; 4) 互动化应用缺乏信息化、自动化支撑^[1-2]。

配电网调度作为配电网运行的指挥协调中心, 长期以来未被重视, 在一定程度上阻碍了智能配电网的建设进程。近年来随着智能电网的发展, 国内外学者才开始将研究的关注点转移到配电网调度^[3-6]。当前, 由于配电网量测信息少、信息质量不高, 配电网调控和运行方式调整大多依靠调控员的经验开展, 配电网调控基本处于“盲调”状态,

特别是面对规模庞大、设备众多的复杂电网, 难以兼顾电网运行的安全性和经济性。

为了从根本上解决这一问题, 国网南京供电公司牵头承担了国家 863 计划项目《智能配电网优化调度关键技术研究》。该项目依托南京配电自动化一、二期试点工程, 以包含分布式电源的智能配电网为研究对象, 在构建高效运行评估体系的基础上, 系统地提出了智能配电网优化调度模式理论, 研制了优化调度关键设备, 极大提升了配电网调控的精细化管理水平和优化资源配置的能力, 全面实现了智能配电网高效运行。项目成果成功应用于南京青奥智能电网示范区, 致力于提高青奥保电工作的科技含量和技术水平, 通过合理协调配电网运行方式、检修计划、保电预案、分布式电源出力和负荷变化趋势等诸多环节, 统筹设计青奥会期间电网的供电方案, 实现了供电安全性、可靠性、优质性、经济性的运行目标。

1 智能配电网优化调度总体框架

智能配电网优化调度总体框架如图 1 所示。运行评估

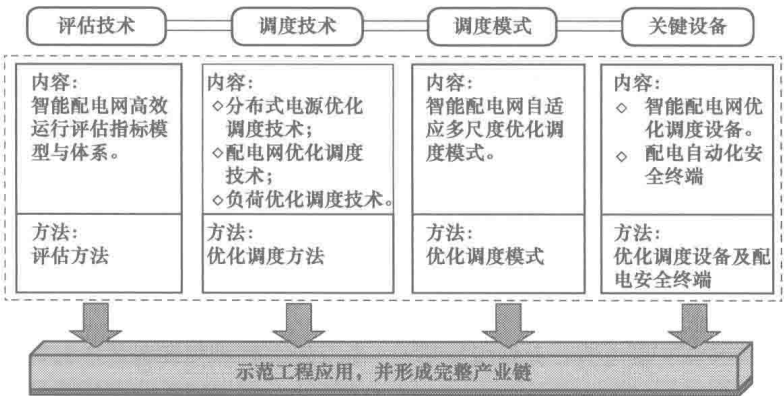


图 1 智能配电网优化调度总体框架

是智能配电网优化调度的基础,通过设计安全性、可靠性、经济性、优质性和智能性等多项指标,构建完整的智能配电网评估体系,全面反映电网状况,评估结果将为电网调度决策提供重要依据。智能配电网优化调度模式是优化调度的核心,在明确调度的范围、调度目标、调度对象和调度机制的前提下,建立相应的调度原则和策略,同时实现不同时段配电网、分布式电源,以及负荷的统一协调优化。关键设备是智能配电网优化调度的支撑和实现手段,在丰富调控手段的同时,提高了控制的精准化和实时化水平,最大限度地避免了人工操作过程中出现失误、危险等隐患。为了验证研究成果的可行性和有效性,需要以示范工程应用为载体,发现问题并日臻完善,加快成果转化推广,为智能配电网建设的开展提供理论和实践依据。

下面本文将重点针对智能配电网优化调度技术及调度模式开展论述。

2 智能配电网优化调度模式研究

智能配电网优化调度的对象包括配电网络、分布式电源/微电网、负荷。为了通过优化调度实现智能配电网的高效运行,需要多个部门在不同时间采用多种调度控制方法,而各种调度方法所需获取的配电网信息均有所差别,并且具有不同信息的不确定性,因此配电网优化调度信息和方法具有时间相关性。

根据上述分析可知,智能配电网优化调度的目标是保证电网持续的安全可靠、优质经济运行,这涉及多个时间尺度,是一种广义的优化调度。因此本文提出了在时间尺度上形成“长期—中长期—短期—超短期/实时”的多时间尺度递进式优化调度策略,并以“局部平衡—分区协调—整体吸纳”为原则,协调分布式电源、微电网、储能装置、可控负荷等调度对象,从而达到提高配电网供电可靠性与

经济性,实现智能配电系统高效运行的目标。优化调度模式层次结构如图2所示。

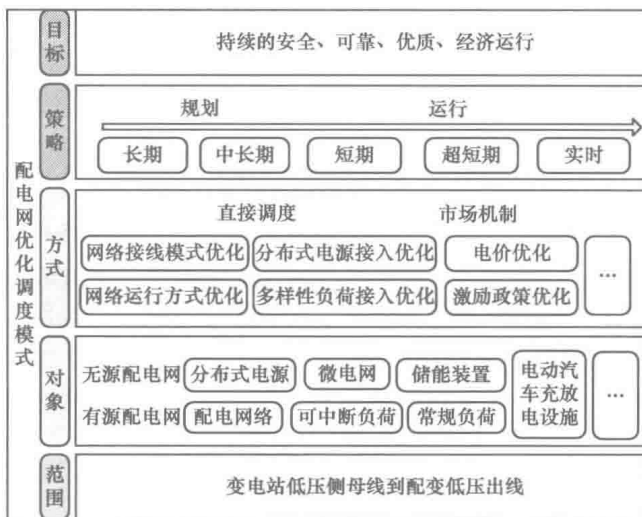


图2 智能配电网优化调度模式层次结构

2.1 多时间尺度递进式优化调度策略

五个调度阶段的调度模式、相互之间的关系如图3所示。

2.2.1 长期优化调度策略

长期优化调度重点考虑规划与调度的协调关系,利用网、源、荷三侧资源的协调调度降低负荷峰谷差、减少尖峰负荷;以风险评估为基础,采用非保守优化规划方法进行规划与调度的协调;优化馈线联络点的分布、分布式电源、电动汽车充放电设施、可中断负荷等规划,实现网、源、荷的协调发展。具体调度策略为:

1) 以夏季和冬季负荷侧的最大用电需量和电源侧的电力供应量及其可调度量为边界条件进行优化。

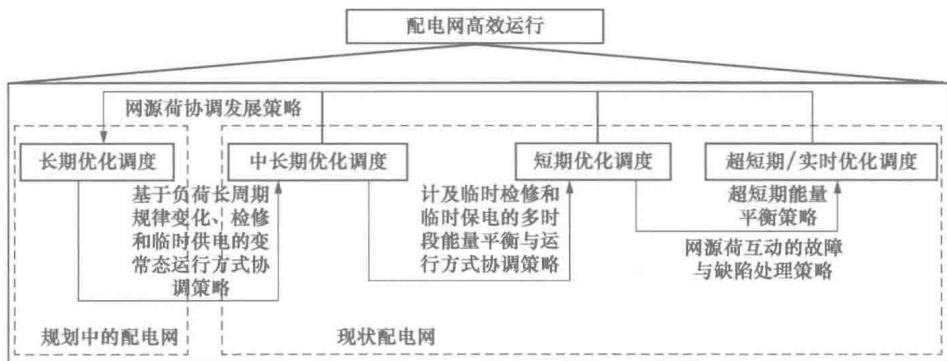


图3 多时间尺度递进式优化调度模式

2) 优化的首要目标是重要负荷的安全可靠供电和削减高峰负荷;对于供电能力十分充足的电网,降低峰谷差不作为主要任务;当不能保证所有负荷供电时,允许甩掉不重要的负荷。

3) 具有太阳能光伏发电的电网,夏季时需优先利用太阳能光伏发电为高峰负荷供电。

4) 具有风力发电的电网,冬季时需充分利用风力发电

为负荷供电。

2.2.2 中长期优化调度策略

中长期优化调度重点针对工作日和节假日负荷用电差异较大、配电网中存在较多的临时供电需求,以及进行计划检修的需求,制定智能配电网月度尺度下的常态调度方案,获得电源和负荷资源的可调度量,形成变常态的网络运行方式。具体调度策略为:

1) 以月度负荷的最大用电需量和电源侧的电力供应及其可调度量为边界条件进行优化。

2) 优化的首要目标是重要负荷的安全可靠供电和削减高峰负荷;当不能保证所有负荷供电时,允许甩掉不重要的负荷。

3) 充分利用不同性质用户负荷之间的差异性和互补性。

4) 当存在检修计划时,考虑停电需求制定常态运行方式;当存在临时供电负荷时,考虑临时供电需求常态运行方式的制定。

2.2.3 短期优化调度策略

短期优化调度主要针对太阳能光伏发电、电动汽车充电、以及其它不同性质的负荷用电特性具有明显的规律,负荷用电具有错时特性,以及临时检修和保电需求制定智能配电网次日多时段调度方案,获得电源和负荷资源的可调度量,形成多时段网络运行方式。具体调度策略为:

1) 以次日负荷侧的用电需量和电源侧的电力供应及其可调度量为边界条件进行优化。

2) 日前优化调度方案主要考虑实现经济运行和提高电压质量,并且以满足电压质量为基本条件,实现智能配电网的经济运行。

3) 具有太阳能光伏发电的电网,利用太阳能光伏发电出力与负荷用电需求的一致性平衡能量。

4) 以避免设备频繁动作为前提条件进行优化。

5) 当存在临时检修时,需要考虑临时停电需求制定日前优化运行方式;当存在临时保电时,需要考虑临时保电需求制定日前优化运行方式。

2.2.4 超短期/实时优化调度策略

超短期/实时优化调度主要针对配电馈线中随时会出现各种形式的功率波动,分布式电源出力间歇性变化,验证次日多时段网络运行方式,制定多时段调度计划的调整方案,并形成可控电源和负荷的控制方案。同时当配电网中发生故障时,为健全区域恢复供电提供调度方案。具体调度策略为:

1) 利用可控分布式电源和储能装置进行配合实现能量的平衡。

2) 当不能保证所有负荷都获得供电时,可以甩掉部分不重要的负荷以满足能量平衡需求。

3) 优先采用可控电源为失电负荷供电。

4) 为提高可靠性,可以转移重要程度较低的负荷到其它馈线,以释放馈线容量和保障重要负荷的供电可靠性。

2.2 智能配电网优化调度层次结构模型

为实现整个智能配电网的优化调度,本文制定了“局部平衡—分区协调—整体吸纳”层级调度机制。局部平衡,以不改变或少改变配网运行方式为原则,在局部配网内进行储能、分布式电源、负荷间的统筹互济,减少分布式电源出力对配网的影响;分区协调,在局部无法平衡消纳分布式电源情况下,通过分区负荷转供消纳,减少对上级电网的冲击;整体吸纳,针对性地优化配网网络结构,制定

各分区分布式电源发展规划,实现网源协调发展。

在此基础上构建了配电网优化调度层次结构模型,包括微电网层、馈线分区层、配电网层,各层对象内部协调进行能量平衡,如图4所示。

微电网层的主要任务是对本馈线的单相接地和设备绝缘下降等故障发展情况进行预测,实现相应的预防性控制,当故障发生时实现快速故障处理。将电压、电流信号、单相接地信号、绝缘下降信号、保护控制装置动作情况、动作前后开关的状态等内容传送给馈线连通系层和变电站连通系层,同时接收并执行控制命令。

馈线分区层的主要任务是根据接收到的信号确定失电母线、故障区段和需要锁定的开关,根据变电站连通系层传来的失电母线对应的应急预案触发继电器分合闸相应的开关,执行接收的重构操作命令。

配电网层根据负荷和分布式电源出力的变化趋势,确定优化运行方式及无功补偿方式,并将开关分合闸操作及顺序传送给馈线连通系层,获得恢复供电负荷多和备用容量大的运行方式。

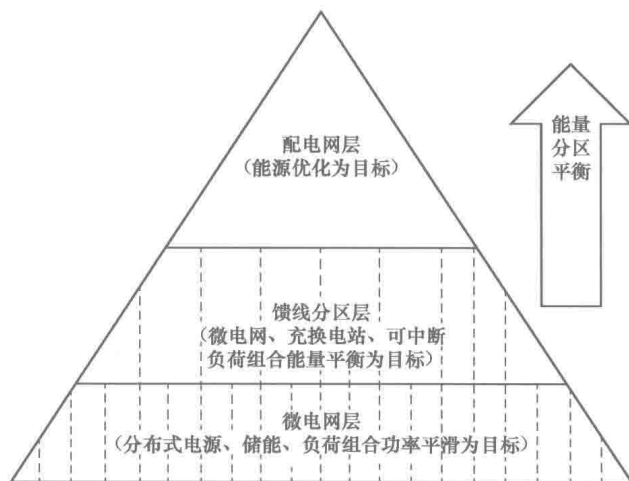


图4 智能配电网优化调度层次结构模型

2.3 基于多时段运行方式的配电网优化调度

基于多时段运行方式的配电网优化调度考虑日前的负荷分布,对日前网络优化调度进行时间、区间的划分,根据每个时间断面的配电网运行方式的不同,使网络实时运行在最优结构下。

日前网络优化调度是指在满足开关操作次数约束的前提下,考虑调度周期内(24小时)负荷的动态变化,对配电网的拓扑结构进行动态的调整,使得配电网在一段时间内达到最优运行状态。本文中,设定日前网络优化调度的目标主要为调度周期内的网络损耗最小,其表达式如下:

$$\min \int_{t_b}^{t_e} P_{loss}(t) \cdot dt \quad (1)$$

式中, $P_{loss}(t)$ 代表的是 t 时刻网络损耗,实际中为了便于计算,一般采用梯形曲线来近似代替配电系统的实际连续负荷曲线,即忽略在较小时间段(一般取一个小时)内负荷的波动情况,其实质就是将连续变量离散化,注重

变化趋势。离散型目标函数可以写成如下形式：

$$\min \sum_{t=1}^T P_{loss}(t) \cdot \Delta t \tag{2}$$

式中， Δt 代表的是一个时段的长度， T 为时间段的总数目，若调度周期为一天的话，那么 $T=24$ 。

考虑到频繁的网络拓扑结构变换会大大降低开关设备的使用寿命，所以除了满足传统的静态约束条件（潮流约束、电压约束、支路容量约束、网络拓扑约束）外，还需增加整个时间周期中总的开关动作次数限制：

$$N_{total} \leq N_{totalmax} \tag{3}$$

式中， N_{total} 为所有开关动作次数， $N_{totalmax}$ 为所有开关的最大动作次数。

本文采用动态重构方法对多时段的配电网运行方式优化调度目标进行求解。动态重构方法的具体思路：分析负荷特性及其分布特性建立负荷分布变化度指标，利用负荷分布变化度指标指导时间区间划分得到优化的时间区间数，同时采用多时段编码方式解决了各时间区间开关状态之间的协调，最后利用多目标粒子群算法进行动态重构。该方

法选取合理的时间区间数，使得整个时间周期内总网络损耗在满足静态约束和开关动作次数约束下最小。

2.4 基于储能系统的分布式电源优化调度

分布式电源的优化调度方案如图 5 所示，具体执行方案如下：

- 1) 分布式电源的优化调度具体执行方案如下：
 - 2) 将分散式分布式电源带有波动性的输出功率波形进行离散傅里叶展开。
 - 3) 将展开后的输出功率波形分为高频段和中低频段，其中，中低频段代表希望输出功率，高频段为期望平抑的毛刺功率。
 - 4) 对高频段输出功率波形进行复刻，控制储能子系统按照与其相反的波形进行充放电，以平抑该部分毛刺功率。
- 由于分布式发电通常配备储能系统（energy storage system, ESS）具有可充可放的运行特性，能够有效克服和改善分布式发电输出的间歇性与波动性。从而实现分散式分布式电源的友好接入，达到优化调度的效果。

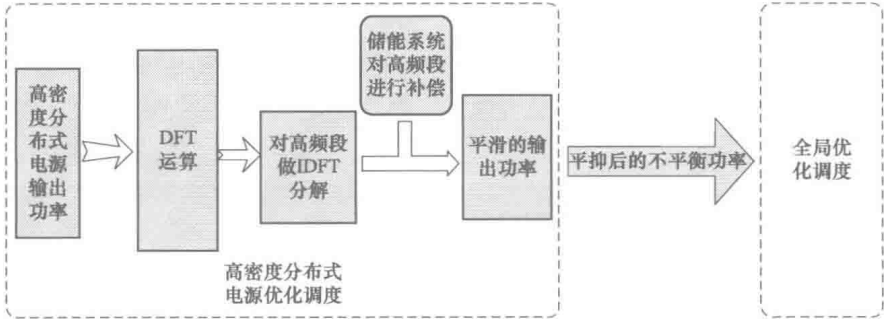


图 5 基于储能系统的分布式电源优化调度方案

2.5 基于电力需求弹性的负荷优化调度

用户可以按照自身的负荷特性和供电电价来改变自己的用电方式，当电价较高时，可以减少电力需求，即削减负荷，然后将电价较高时削减的负荷转移到电价较低时段，以此来减少电费支出和购电风险。

本文实施分时电价的主要目的是减小峰谷差，提高整个电力系统运行的经济性和稳定性，其目标函数为：

$$\min \left[\max_{1 \leq i \leq 24} \sum_{t=1}^n P_{Dk,i,t}(\lambda_f, \lambda_p, \lambda_g, t) \right] \tag{4}$$

式中： $P_{Dk,i,t}$ 为分时电价后用户在第 i 个节点第 t 个时刻的用电量。

分时电价前供电公司的购电成本为，分时电价后供电公司的购电成本为 $\lambda_w \sum_{i=1}^{24} \sum_{t=1}^n P_{Gk,i,t}^0$ ，电费收入为 $\lambda \sum_{i=1}^{24} \sum_{t=1}^n P_{Dk,i,t}^0$ ，分时电价后供电公司的购电成本为 $\lambda_w \sum_{i=1}^{24} \sum_{t=1}^n P_{Gk,i,t}$ ，电费收入为：

$$\lambda_f \sum_{t \in T_f} \sum_{i=1}^n P_{Dk,j,t} + \lambda_p \sum_{t \in T_p} \sum_{i=1}^n P_{Dk,j,t} + \lambda_g \sum_{t \in T_g} \sum_{i=1}^n P_{Dk,j,t} \tag{5}$$

实施分时电价前用户的单位购电费用为 λ ，实施后，用

户响应电价，改变自己的用电方式达到减少电费支出的目的，其在峰平谷时段的用电量分别为 $\sum_{i \in T_f} \sum_{j=1}^n P_{Dk,j,t}$ ， $\sum_{i \in T_p} \sum_{j=1}^n P_{Dk,j,t}$ ， $\sum_{i \in T_g} \sum_{j=1}^n P_{Dk,j,t}$ ，相应的电价为 λ_f ， λ_p ， λ_g ，单位购电费用为 λ_0 。为了保证用户响应的积极性，应该保证实施前后用户的平均单位成本没有增加，即： $\lambda_0 \leq \lambda$ 。

3 智能配电网综合优化系统

智能配电网综合优化系统是优化调度高级应用的实现。该系统按照 IEC61970 的标准进行配电网信息建模，遵从 IEC61968 的交互规范并实现与外部系统（上级调度系统、营销管理系统、配网生产管理系统等）的互联，可以实时显示并计算电网的运行状态指标。

业务优化和运行方式优化是贯穿五个时间尺度的两条优化主线：在业务优化方面，在各时间尺度对迎峰度夏、迎峰度冬、停电计划、停电申请、保电申请、运行监控、停电分析、故障处理等业务进行优化；运行方式优化方面，根据各时间尺度关注的时间长度不同，从长期到短期分别对半年运行方式、月度工作日和休息日运行方式以及日前运行方式进行优化，实现系统运方的系统化优化。系统界

面如图 6 所示。

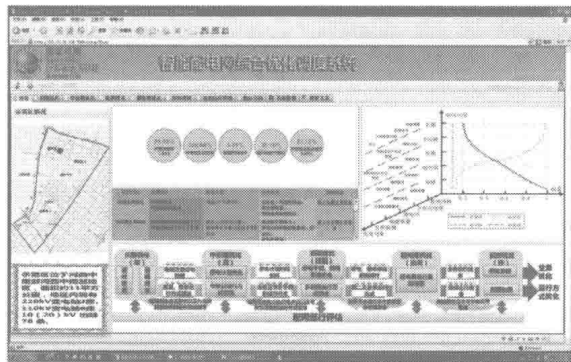


图 6 智能配电网综合优化系统界面

智能配电网综合优化系统由基础支撑层、应用层和高级应用层组成三层软件框架。基础支撑层完成配电网的建模及模型拼接、拓扑、潮流计算等功能；应用层由智能配电网新能源优化调度模块、网络优化调度模块、多样性负荷优化调度模块和电网运行状态评估模块组成；高级应用层完成配电网的分布式电源-配电网络-负荷的协调调度功能。根据调度模式所确定的调度目标分解为新电源、网络和负荷的子调度目标，下发给应用层的对应模块。应用层的三个模块根据调度目标给出具体的调度策略，下发调度执行层完成对相应对象的调度，由评估模块对电网的运行状态进行实时评估，并对调度后配电网的改善水平给出量化评估。智能配电网综合优化系统软件模块关系图 7 所示：

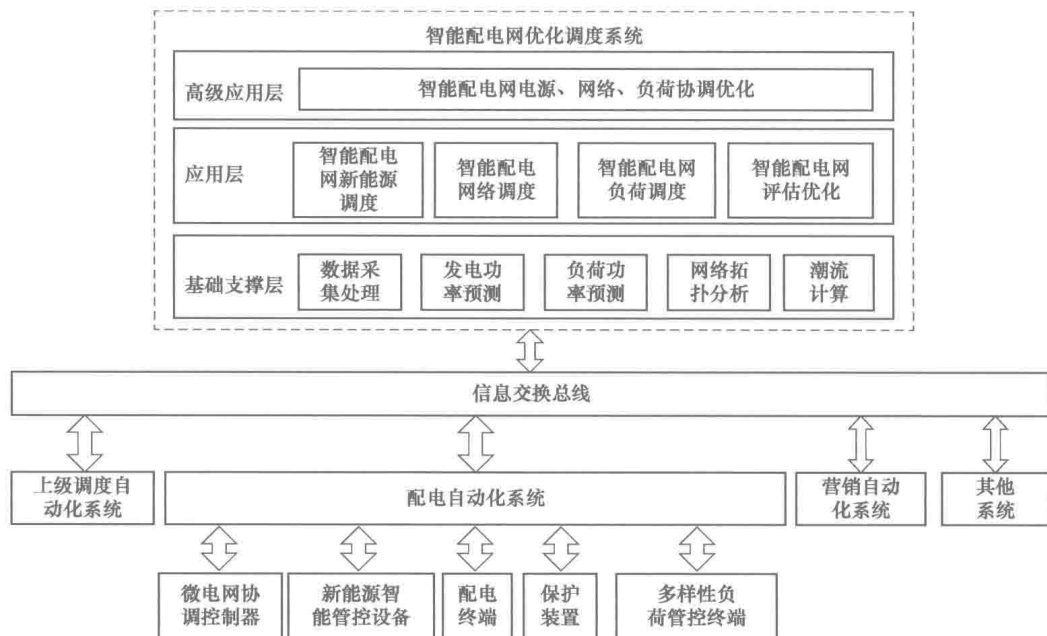


图 7 智能配电网综合优化系统软件模块关系

4 示范应用

课题组选择南京青奥智能电网示范区对研究成果进行示范应用。南京青奥智能电网示范区为 2014 年第二届夏季青年奥林匹克运动会主场馆所在地，同时也是南京金融、商务、商贸、会展、文体五大功能为主的新城市中心。示范区面积约 11 平方公里，区域内最大负荷功率约为 76 万千瓦，涵盖 220kV 变电站 2 座，110kV 变电站 6 座，馈线 132 条。

2013 年迎峰度夏期间，通过选取示范区内典型馈线进行实际操作，证明由于负荷的分布具有时变性，在不同负荷分布情况下，对应的配电网优化的运行方式具有差异，通过配电网的调度可改变每条馈线的负荷峰谷差，从而改变潮流分布，改变电能损耗，通过优化可以提高供配电的效率。

4.1 基于运行方式优化的网络优化调度实际应用

10kV 香堤线与塞上线联络处的电网简化图如图 8 所示。

开关动作情况：

1) 2013 年 7 月 24 日 18:00 合上赛上线 #5 环网柜 102 开关，断开香堤线 #3 环网柜 101 开关，(从所街变香堤线转移约 3850kVA 居民负荷至沙洲变塞上线)；

2) 2013 年 7 月 25 日上午 8:00 合上香堤线 #3 环网柜 101 开关，断开赛上线 #5 环网柜 102 开关，负荷转移前后的潮流对比如图 9、10 所示。

由上两图可知，香堤线负荷转移前后，峰谷差有了明显的降低，约降低 18.7%；塞上线负荷转移前后峰谷差基本保持不变。

4.2 基于负荷需求弹性的负荷优化调度实际应用

对示范区内的负荷进行可降负荷预估，根据变电站各类负荷所占比例及各类负荷所具有的调节特性进行分类计算，得到示范区内各变电站可降负荷的预估在 9%-10% 之间，可降比例为 9.25%。可降的负荷容量预估为 12.42MW。如表 1 所示。

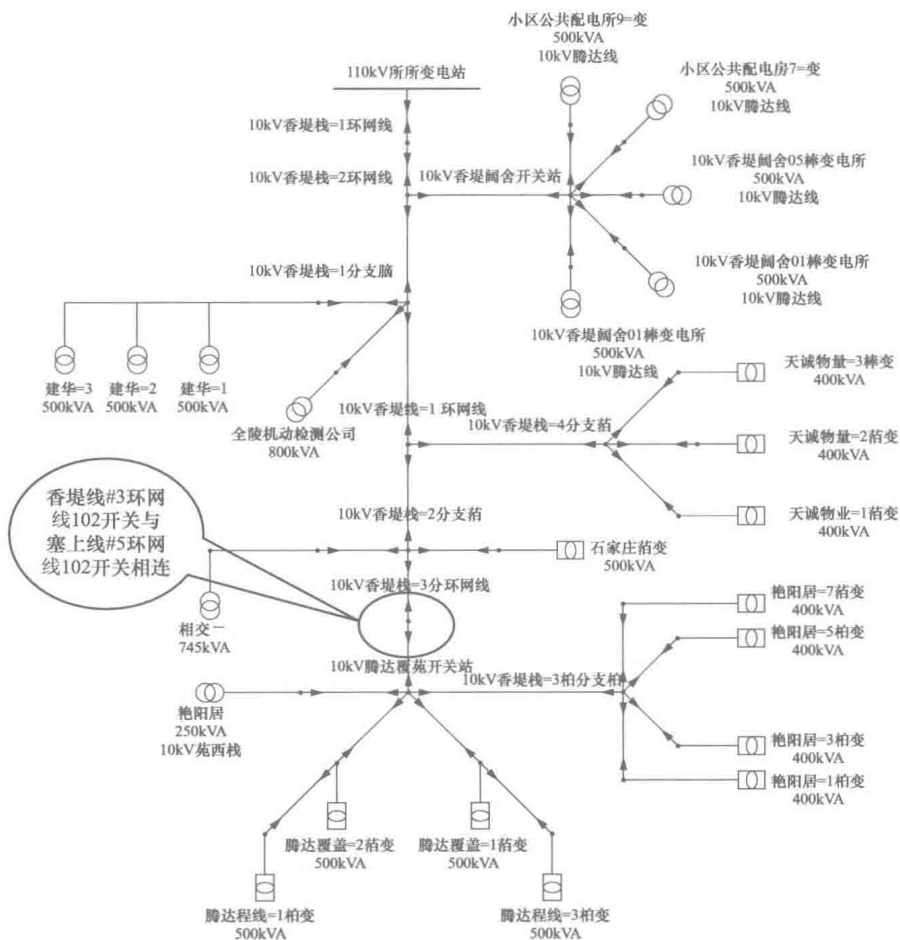


图8 电网简化图

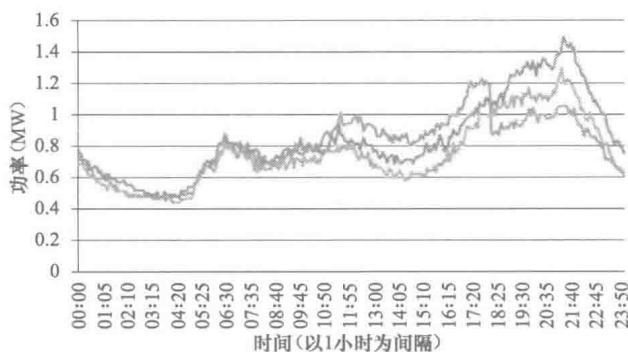


图9 香堤线负荷转移前后对比图

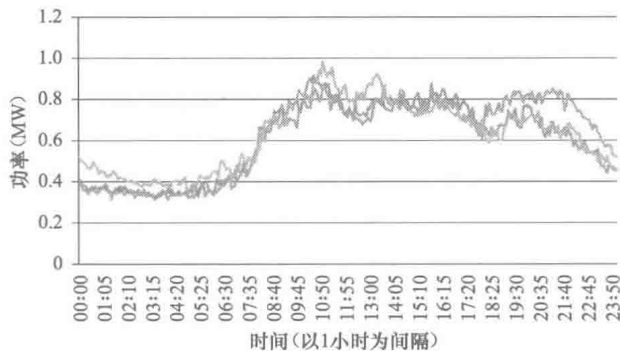


图10 塞上线负荷转移前后对比图

注：红色曲线为负荷转移后曲线，其他两个颜色
曲线分别为开关操作前后的曲线

计算结果是在理想情况下进行得出的，在用户完全参与的情况下，峰谷差可降低10%~20%左右。如果通过引导合理用电进行负荷调度，可大大降低负荷峰谷差，降低电力高峰负荷需求，延缓和减少电力设备投资。

示范区内2013年最大负荷753.21 MW，如果按峰谷差占最高负荷比例平均降低10%来计算，则通过对负荷进行优化调度可降低75.32 MW的高峰负荷电力需求，按照南京供电公司“十二五”期间110kV及以下单位投资增供负荷0.0003 kW/元进行测算，可降低示范区内110kV及以下发电设备的电网建设投资2.51亿元。

4.3 青奥保电实际应用

在青奥保电及迎峰度夏期间，南京供电公司调控中心根据电网运行方式的特殊性，结合中长期优化调度操作建议，合理安排青奥保电过程中检修计划、运行方式、分布式电源出力及负荷变化趋势，通过梳理85家重要保电电源点，按照不同电压等级分别制定了相应的保电预案。

同时，应用研究成果有效降低了青奥示范区内网的线损和峰谷差，减少了电网建设投资成本，提升了配电网调控的精细化水平和电网运行效率，保障了赛事期间电网的安全、可靠、经济运行。

5 结论

随着智能配用电技术、电力市场，以及分布式电源技

术的高速发展,智能配电网的建设正在如火如荼的展开,智能配电网优化调度作为其中的重要环节必将发挥越来越重要的作用。本文在分析传统配电网调度存在问题的基础上,结合承担的国家 863 计划项目,确立了智能配电网优化调度总体框架,重点针对调度技术和模式进行阐述,首次提出了智能配电网优化调度模式理论,构建了优化调度体系结构,并将规划到运行分为长期、中长期、短期、超短期、实时五个阶段,建立了多时间尺度递进式调度策略。同时,研发了智能配电网综合优化系统作为优化调度高级应用的实现,提高了配网调控的精准化和快速化

水平。

本文所提理论填补了该领域的技术空白,推动配电网运营模式向用户参与、潮流双向流动、高度自动化的方向转变,全面实现智能配电网的高效运行,促进整个新能源行业及下游产业链的发展,并有力引领智能配电网建设进程。研究成果获得 2014 年国网公司科技进步二等奖,并在南京青奥智能电网示范区进行了成功应用,有效降低了负荷峰谷差和电网损耗,保证了青奥会期间电网的安全、可靠、优质、经济运行,可视作为理论研究与实际应用良性互动的典范。

表 1 示范区内各变电站可降负荷的预估值

变电站名称	峰荷 (MW)	峰谷差率	居民占比	商业占比	工业占比	居民可降比例	商业可降比例	工业可降比例	居民可降值 (MW)	商业可降值 (MW)	工业可降值 (MW)	可降比例	馈线可降峰值 (MW)
沙洲变	24.28	73.86%	61.87%	32.52%	5.61%	6.06%	2.73%	0.56%	1.47	0.66	0.14	9.35%	2.27
奥体变	16.66	67.89%	62.20	35.07%	1.73%	6.09%	3.03%	0.17%	1.01	0.50	0.03	9.29%	1.55
积善变	5.26	63.03%	61.00%	28.00%	11.00%	5.97%	2.35%	1.10%	0.31	0.12	0.06	9.43%	0.50
所街变	34	61.89%	59.00%	37.00%	4.00%	5.78%	3.11%	0.40%	1.96	1.06	0.14	9.29%	3.16
上新河变	10.06	65.40%	48.00%	49.00%	3.00%	4.70%	4.12%	0.30%	0.47	0.41	0.03	9.12%	0.92
双闸变	44.65	67.50%	51.00%	46.00%	3.00%	4.99%	3.86%	0.30%	2.23	1.73	0.13	9.16%	4.09
富城变	15.44	67.36%	62.23%	367.20%	0.57%	6.09%	3.12%	0.06%	0.94	0.48	0.01	9.28%	1.43
会展变	7.64	69.39%	50.00%	50.00%	0.00%	4.90%	4.20%	0.00%	0.37	0.32	0.00	9.10%	0.70
示范区	134.29	69.39%	56.76%	39.87%	3.37%	5.56%	3.35%	0.34%	7.47	4.50	0.45	9.25%	12.42

参考文献

[1] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网 [J]. 电网与清洁能源 2009, 25 (1): 7—11.
YU Yi-xin, LUN Wen-peng. Smart grid [J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25 (1): 7-11.

[2] 朱红, 余昆, 韦磊, 等. 配电网运行方式调度及其发展趋势分析 [J]. 华东电力, 2013, 41 (4): 821-825.
ZHU Hong, YU Kun, WEI Lei, et al. Distribution Network Operation Mode Scheduling and Its Development Trend [J]. East China Electric Power, 2012, 36 (18): 22-26.

[3] 陈星莺, 陈楷, 刘健, 等. 配电网智能调度模式及关键技术 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (18): 22-26.
CHEN Xing-ying, CHEN Kai, LIU Jian, et al. A distribution network intelligent dispatching mode and its key techniques [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36 (18): 22-26.

[4] 夏叶, 康重庆, 宁波, 等. 用户侧互动模式下发用电一体化调度计划 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (1): 17-23.
XIA Ye, KANG Chong-qing, NING Bo, et al. A generation and load integrated scheduling on interaction mode on customer side [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36 (1): 17-23.

[5] FREITAS W, DASILVA L C P, MORELATO A. Small—disturbance voltage stability of distribution systems with induction generators [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20 (3): 1653—1654.

[6] 姚莉娜, 张军利, 刘华, 等. 城市中压配电网典型接线方式分析 [J]. 电力自动化设备, 2006, 26 (7): 33-37.
YAO Li-na, ZHANG Jun-li, LIU Hu, et al. Analysis of typical connection modes of urban middle voltage distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26 (7): 33-37.

作者简介:

朱红 (1971-), 女, 硕士, 高级工程师, 国网领军人才, 主要研究方向: 电网调度与优化运行。
周冬旭 (1984-), 男, 通讯作者, 博士, 工程师, 主要研究方向: 电网调度与优化运行。
嵇文路 (1974-), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 配电自动化。
罗兴 (1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 电网调度与优化运行。

配电自动化运维管理探析

马 骏

国网无锡供电公司，配电工程管理

摘要：本文结合近年江苏公司配电自动化建设的开展，对省内几家配电自动化系统上线单位进行调研，对其系统运维现状进行总结分析，结合国网公司对配电自动化系统运维的要求，分析汇总了目前影响配电自动化系统运维水平提高的问题，并提出建议和意见，便于在后期工作中积极改进，不断总结提炼，探索出职责清晰、运转高效的配电自动化运维管理模式。

关键词：配电网 自动化 管理模式

0 引言

配网自动化是坚强智能电网建设的重要工作内容之一，也是提高配网生产运行水平，提升供电可靠性的重要技术手段。2011年起，江苏公司按照国网公司要求，在总结以往配电自动化实践经验的基础上，从公司生产运行的实际需要出发，针对配电自动化点多面广的特点，以及不同规模和不同条件下配电自动化的应用需求，陆续在南京、苏州、扬州等五家地市公司开展配电自动化项目建设，截止目前，南京配电自动化系统已进入实用化运行阶段，苏州、扬州两家公司配电自动化系统已进入试运行阶段。省公司依据国网公司《配电自动化系统运行维护管理规范》（Q/GDW 626），结合配电网管理及配电自动化系统实际运维情况，对南京、苏州、扬州三家进入配电自动化运行阶段的单位开展配电自动化运维管理模式调研，深入了解现阶段配电自动化运维管理中存在的问题，通过可行性分析对存在问题提出切实可行的解决方案，建立配电自动化系统运维管理长效机制，确保配电自动化系统运维管理工作常态化开展。

1 现状与分析

1.1 配电自动化运维管理现状

江苏公司在“十二五”配网规划中明确提出，要建立网架坚强、调度灵活、技术先进、安全可靠、结构合理、适应性强、保持平衡、就地补偿、技术经济指标先进、自动化程度高、与社会经济发展水平相适应的配电网体系。配电自动化系统的建设与应用，在某种程度上增强了配电网结构的适应性，强化了配电网整体运维水平，极大的提高了供电可靠性。从2011年起，江苏公司在国网公司的统一部署下，在南京、苏州等六家地市公司开展配电自动化项目建设工作，并计划于2014年底实现全省十三家地市公司配电自动化系统全面上线，在“十二五”末期达到全省地级市配网自动化覆盖率46%的规划目标，同比2011年提

高了38个百分点，分年度计划目标详见表1。

表 1 地级市配网自动化覆盖率

年度	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
覆盖率	15.38%	23.08%	38.46%	46.15%

随着配网自动化的全面建设，配电自动化系统运维管理将面临很大考验。与早期配电自动化系统不同，当前配电自动化系统的建设模式整合程度高，管理范围大，设备数量多，技术要求高，再加上配电网整体结构较为薄弱，必然对配电自动化运维管理工作带来一定的困难。本次调研以提升配电网运维管理水平为切入点，通过对配电自动化运维管理职责、运检管理、技术管理三个方面，对南京、苏州、扬州三家地市公司的运维管理现状进行深入了解分析。

1.1.1 管理职责

依据国网公司 Q/GDW626《配电自动化运行维护管理规范》中要求，三家地市公司均以运维检修部为归口部门，负责配电自动化系统的统一管理工作；电力调度控制中心负责配电自动化主站的专业管理及运维工作；信通公司负责子站、通信设备的专业管理及日常运维工作；配电运检工区负责配电自动化终端设备的运行维护工作。均配备专职或兼职的运行维护人员，并明确运行维护的管理职责和工作要求。

(1) 南京公司

南京公司依据国网公司及省公司管理要求及规章制度，制定了《南京配电自动化设备管理规定》、《南京配电自动化系统运行维护管理规定》、《南京配电自动化开关设备现场操作技术说明》、《配网工程新上设备自动化要求》、《南京供电公司配电网单线图模维护管理规定（试行）》等配电自动化运维管理相关的制度标准，用于规范配电自动化运维工作。

南京公司在配电自动化运维管理分界面的划分方面，电力调度控制中心与信息通信公司运维工作界面为自动化机房主站系统前置交换机光纤配线架，光纤配线架自动化机房侧由电力调度控制中心负责运维，通信机房侧由信息

通信公司负责运维。配电运检单位与信息通信公司的运维工作界面为配电自动化终端箱内的 ONU (光网络单元), ONU 至配电自动化终端设备 (包含 ONU) 由配电运检单位负责运维, ONU 的 PON 口出线向外至光缆交接箱 (包含此尾缆) 由信息通信公司负责运维。避免部分设备运维管理中由于规定没有具体说明而出现无人运维的情况发生, 以设备负责人管理方法保证运维工作的无缝开展。

南京公司对配电自动化专业进行人员分配, 负责配电自动化系统的运行维护工作。配电运检工区成立配电运检 5 班, 设置班组人员共 10 人, 主要负责配电终端以及相关模块、PT、CT 的运行维护工作, 同时负责配电线路 PMS 图纸的维护工作; 配电自动化主站系统运维职责由自动化运维班承担, 负责配电自动化主站系统硬件、软件的运维工作, 配网图形、数据的维护工作, 确保系统可靠、稳定运行, 保障配网调控业务的正常开展; 站外线路的监视与控制任务均由配网调控班组负责。根据南京配电自动化通信接入网特点, 配电自动化通信系统和子站运维职责由信通公司承担。其中, 通信系统维护一班负责配电自动化通信系统变电站设备和子站设备的日常巡视检查、检修、故障消缺等日常运维工作; 通信系统维护二班负责配电自动化通信系统的主站设备与网管日常巡视检查、检修、故障消缺等日常运维工作; 通信系统维护三班负责配电自动化通信系统通信线路 (包括光缆线路与光缆交接箱) 的日常巡视检查、检修、故障消缺等日常运维工作。

(2) 苏州公司

苏州公司依据国网公司及省公司管理要求及规章制度, 制定了《苏州配电自动化运行管理规定》、《配电自动化开关遥控操作管理规定》、《主站、子站及通信设备运行管理规定》等配电自动化运维管理相关的制度标准, 用于规范配电自动化运维工作。

苏州公司在管理分界面的划分方面, 电力调度控制中心负责配电自动化主站、配电自动化系统通信使用的路由器、配电终端的专业管理及配电自动化主站设备 (含远程工作站及其安装所需的网络设备) 和配电自动化系统通信使用的路由器的运行维护、检修工作和运行资料管理; 信通公司负责通信设备、光缆管理及配网光纤通信系统、网管系统的监测工作; 配电运检工区负责对配电一次设备和配电终端巡视及消缺管理。

目前苏州公司在电力调度控制中心、信通公司、配电运检工区均未设置相应的专业班组, 但以各自部门发文的形式明确了配电自动化管辖的职责和分工, 有相关专业班组人员代维, 也未有规划配置配电自动化相关技术、管理人员及班组, 主要原因是人员紧缺, 专业人员无法合理分配, 如果长久如此, 必然在配电自动化运维管理中暴露出很多问题, 配电自动化运维体系也无法建立长效机制, 是当前亟待解决的问题。

(3) 扬州公司

扬州公司依据国网公司及省公司管理要求及规章制度, 制定了《扬州供电公司配电自动化系统运行维护管理规定 (试行)》、《配用电通信接入网运行管理规定 (试行)》等配电自动化运维管理相关的制度标准, 用于规范配电自动化

运维工作。

扬州公司在管理分界面的划分方面, 电力调度控制中心负责配电自动化 OPEN3200 系统的使用与维护, 负责负荷监视、远方调整遥控操作, FA 执行使用等具体工作; 配电运检工区主要负责终端设备 (DTU、FTU、ONU) 的检修、调试、消缺、设备新投、验收测试等工作; 信息通信公司负责通信光缆等设备维护工作。

扬州公司根据各相关部门对配电自动化业务的承载力, 对人员进行配置。在配电运检工区成立智能配电班, 分别由配电一次班、继电保护班、调度自动化班抽调的专业人员组成, 共 6 人, 负责配电终端以及相关模块、PT、CT 的运行维护工作; 站外线路的监视与控制任务均由配网调控班组负责; 配电自动化主站系统运维职责由自动化运维班承担, 负责配电自动化主站系统硬件、软件的运维、配网图形、数据的维护工作, 保证配网调控业务的正常开展; 配电自动化光纤及通道的维护由信通公司通信班承担, 主要负责通信设备巡视、消缺等日常工作。

1.1.2 运检管理

南京、苏州、扬州公司在配电自动化运行管理原则上都遵循按设备归属关系进行管理的要求, 并存在运行值班和交接班、各类设备和功能停复役管理、安全管理、检验管理等制度, 运行人员的配置也基本满足配电自动化系统的运维需要。均存在相关的运行日志记录或台账。

日常运维

三家单位在配电自动化主站系统运行维护中, 均能满足对配电自动化设备运行状态的实时监控工作, SCADA 和遥控、DA 功能均已正常启用, 但负荷预测、潮流计算、分布式电源管理等高级应用功能由于现场数据缺乏等原因, 仅具备功能, 没有实践验证。能够定期对主站设备进行巡视、检查、记录, 发现异常情况及时处理并准确汇报。发现终端、通信通道异常时, 能够及时通知有关运行维护部门开展消缺工作。对 PMS、GIS 图形的维护能够做到及时准确, 能够保证主站与现场设备的网络拓扑关系、调度命名、编号的一致性, 三遥等配置信息的准确性。

在通信设备、配电终端及附属设备的运行维护中, 三家单位均能正常开展日常巡视、检查、记录等运维工作, 发现异常情况能够及时处理, 并存在对应的设备台账 (卡)、设备缺陷记录、测试数据等记录。对于信息交互总线系统, 均能满足信息源端维护的原则, 以保证系统间交互数据、拓扑等信息的唯一性和准确性。

检修管理

三家单位依照《国家电网公司关于深化电网设备状态检修工作的意见》(国家电网生 (2011) 154 号) 中相关规定, 合理安排、制定检修计划和检修方式, 对配电主站、配电子站、配电终端、配电通信设备等开展检修工作。对于存在一般缺陷的配电自动化设备, 能够结合检修计划进行消缺处理。配电自动化系统各运行部门针对可能出现的故障, 制定了相应的应急方案和处理流程。

缺陷管理

三家单位在配电自动化设备巡视中能够做到发现缺陷及时上报, 按照缺陷分类录入台账, 并定期汇总上报缺陷

情况，作为配电自动化运行分析的依据。但在调研中发现，各家单位均存在缺陷没有及时消除的情况，无法满足缺陷处理响应时间的要求。

信息管理

三家单位在信息管理中，特别是软件版本管理与安全管理上，落实的较为规范。软件版本管理中要求各运行维护部门统一发布最新配电主站、配电终端设备的软件版本，对软件版本更新及时，并定期核对软件版本号，确保配电主站、终端设备的软件版本与发布版本一致。安全管理中，要求各运行维护部门定期对关键业务数据与应用系统进行备份，确保在数据损坏或系统崩溃的情况下快速恢复数据与系统，保证系统的安全性、可靠性；及时了解相关系统软件漏洞发布信息，及时获得补救措施或软件补丁，对软件进行加固；严格执行《中低压电网自动化系统安全防护补充规定（试行）》（国网 168 号文）和《电力二次系统安全防护规定》相关内容。

1.1.3 技术管理

资料管理

三家单位均遵照《配电自动化系统运行维护管理规范》要求开展资料管理工作。对新安装的配电自动化系统必须有已校正的设计资料（竣工原理图、竣工安装图、技术说明书、运动信息参数表、设备和电缆清册等）、设备制造厂提供的技术资料（设备和软件的技术说明书、操作手册、软件备份、设备合格证明、质量检测证明、软件使用许可证和出厂试验报告等）及工程负责单位提供的工程资料（合同中的技术规范书、设计联络和工程协调会议纪要、调整试验报告等），而正式运行的配电自动化系统应具备配电自动化系统相关运行维护管理规定，办法、设计单位提供的设计资料、现场安装接线图，原理图和现场调试测试记录、软件资料、设备故障和处理记录、设备投入试运行和正式运行的书面批准文件、各类设备运行记录等。

图纸管理

PMS 图纸与调度运方图之间的协调管理方面。南京公司采用的是 PMS 图纸向调度运方图进行推送，调度直接使用 PMS 图纸进行集成方式，其余两家公司应用调度防误系统根据 PMS 图纸在防误系统中重新绘制系统运方图。

指标管理

三家地市单位在主站端均实现指标统计及计算功能，并定时上报，提供分析依据。由于南京公司已进入配电自动化实用化运行阶段，配电终端在线率指标每月定期报送国网运监中心，指标不小于 95%，符合要求，但其余未进入实用化运行阶段的地市公司此指标均不能稳定保持在 95% 以上，且对遥控使用率，遥控成功率，遥信动作正确率等配电自动化运行指标未进行定期分析总结，尚未开展相关的管理提升工作。

1.2 现存问题分析

调研组对南京、苏州、扬州配电自动化运行情况进行了解分析，认为总体上符合配电自动化运维管理要求，但仍存在部分问题。通过分析总结，归纳出一些共性问题，这些问题对配电自动化运维工作开展的常态化与实用化，将形

成阻碍作用，但也是通过提高运维管理水平可以解决的。

1.2.1 配电终端设备掉线率高

经了解，南通、苏州、扬州公司配电自动化终端掉线情况均较为频繁，必须保证及时进行消缺处理，才能满足配电终端在线率大于等于 95% 的指标要求，极大的增加了运行人员的运维压力。据运行人员统计，有大部分情况是因为通道异常造成的通讯故障，小部分原因是由终端设备或附属设备异常造成的掉线故障。以南京公司 2013 年 7 月配电自动化终端掉线情况为例，共发生 26 起配电自动化终端掉线故障，其中 7 处已办理退役（短时间无法恢复），其余 19 起故障中，有 5 处是终端设备及附属设备故障，14 处是通信故障。已办理退役的 7 处中的 6 处也是由于通信无法恢复而暂时退役。终端故障中有 3 处是中国电科院设备，均为 FTU，表现是终端设备工作状态不稳定，不定期的自行投退。经现场分析判断，发现终端设置及接线均无问题，原因是终端板件损坏或者是通信设备 ONU 工作状态不稳定，需厂家配合更换插件。另有 2 处是南瑞设备，其中建邺路 #2 环网柜是由于环境温度太高导致，更换设备后依然如此。聚宝山庄开闭所 DTU，现场发现只能有一个终端在线，查勘后发现是参数配置问题。苏州、扬州公司也发生过类似情况。总结来看，配电终端掉线原因主要分为三类：1. 通信故障，通道运行状态不稳定；2. 终端及附件设备质量问题；3. 配电终端参数配置问题。

1.2.2 馈线自动化功能动作成功率低

南京、苏州、扬州公司 DA 功能的使用率均能保持较高水平，一般采取全自动方式或半自动的操作方式。但使用中发现馈线自动化功能动作的成功率较低，在 70%-80% 之间。成功率低带来的影响一是无法准确故障定位，造成抢修效率降低，无法体现配电自动化系统的优势；二是存在安全风险，无法准确的判断故障，导致在恢复下游供电策略中扩大故障范围，造成开关跳闸等恶劣事故发生。以扬州公司 2013 年 6 月 7 日一起 DA 动作情况为例，2013 年 6 月 7 日 18 点 30 分 28 秒，吕桥变 10kV 科教线 122 开关发生相间短路，122 开关过流 I 段跳闸，重合未成功。故障发生后，配电自动化主站系统 DA 正确启动（开关分闸十事事故总），采集判据见表 2：

表 2 DA 采集遥信判据参数

序号	配电自动化终端	信息
1	吕桥变科教线 122 开关保护	过流动作
2	科教华扬 216 开关 FTU	过流动作
3	华扬集镇 233 开关 FTU	未采集（过流）
4	华扬金鑫 616 开关 FTU	正常
5	华扬农行 086 开关 FTU	正常